



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
TABLERO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE
DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (EPS)
PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

**CHAFLA TUQUINGA LUIS ANGEL
SALINAS MEJÍA MARCO SANTIAGO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Abril, 02 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS ANGEL CHAFLA TUQUINGA

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO
DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (EPS) PARA
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Constante N
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Mario Audelo G
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Abril, 02 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

MARCO SANTIAGO SALINAS MEJÍA

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DIDÁCTICO
DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (EPS) PARA
LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Constante N
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Mario Audelo G
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS ANGEL CHAFLA TUQUINGA

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
TABLERO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA
ELÉCTRICAMENTE (EPS) PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: ABRIL 02 DE 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Diego Constante (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Mario Audelo (ASESOR)			

* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARCO SANTIAGO SALINAS MEJÍA

TÍTULO DE LA TESIS: “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
TABLERO DIDÁCTICO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA
ELÉCTRICAMENTE (EPS) PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: ABRIL 02 DE 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Diego Constante (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Mario Audelo (ASESOR)			

* Más de un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El presente trabajo de grado que presentamos, es original y fundamentado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Luis Angel Chafra Tuquinga

f) Marco Santiago Salinas Mejía

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico primeramente a Dios por haberme dado la vida para seguir luchando en esta dura vida, luego a mi padre por haberme brindado su apoyo incondicional; a mi madre lo más importante en mi vida, quien me ha enseñado a luchar para conseguir mi objetivo.

Dedico también a mis amigos porque ellos han estado cuando más los necesité, a mis profesores por ser el apoyo fundamental en toda mi vida estudiantil, gracias a todos aquellos los que me ayudaron a levantar cuando estuve caído.

Luis Angel Chafra Tuquinga

El presente trabajo de graduación lo dedico en primer lugar al Infinito Creador por permitir seguir luchando pese a las dificultades y barreras que se me interpusieron por cumplir los objetivos trazados en la vida estudiantil.

Dedico; también esta tesis; a mi madre que es mi gran tesoro por haberme inculcado valores que han sido los que me han llevado al lugar en el que hoy en día estoy, a mi familia por ser los que me impulsen a seguir adelante, a mis profesores por ser una mano amiga en mi vida estudiantil de quienes aprendí además de las cátedras impartidas, valores, que seguro estoy, me serán de utilidad para enfrentar mi futura vida profesional.

Marco Santiago Salinas Mejía

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad y en la vida.

Y en especial para toda mi familia, que me brindaron su apoyo incondicional de una u otra manera para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Luis Angel Chafra Tuquinga

De igual manera un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, al Ing. Diego Constante, al Dr. Mario Audelo y a todas la personas que ayudaron a culminar con éxito esta tesis.

Y en especial para toda mi familia, compañeros y amigos que me apoyaron en todos los momentos de mi vida estudiantil.

Marco Santiago Salinas Mejía

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.2.1 <i>Justificación técnica</i>	1
1.2.2 <i>Justificación social-económica</i>	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Sistema de dirección.....	4
2.2 Elementos del sistema de dirección.....	5
2.2.1 <i>Volante de dirección</i>	5
2.2.2 <i>Columna de dirección</i>	5
2.2.2.1 <i>Columna de dirección de ángulo variable</i>	5
2.2.2.2 <i>Columna de dirección desplazable</i>	6
2.2.2.3 <i>Columna de dirección enrejillada</i>	6
2.2.3 <i>Caja de dirección</i>	7
2.2.4 <i>Biela</i>	7
2.2.5 <i>Barra de mando</i>	7
2.2.6 <i>Barra de acoplamiento</i>	7
2.2.7 <i>Terminales</i>	7
2.3 Evolución del sistema de dirección.....	8
2.4 Características de todo sistema de dirección.....	8
2.4.1 <i>Seguridad</i>	8
2.4.2 <i>Suavidad</i>	9
2.4.3 <i>Precisión</i>	9
2.5 Ángulos de la dirección.....	9
2.5.1 <i>Ángulo de salida</i>	10
2.5.2 <i>Ángulo de caída</i>	11
2.5.3 <i>Ángulo de avance</i>	12
2.5.4 <i>Cotas conjugadas</i>	13
2.5.5 <i>Convergencia</i>	13
2.6 Tipo de direcciones.....	14
2.6.1 <i>Dirección mecánica</i>	14
2.6.1.1 <i>Mecanismo de dirección de tornillo sin fin</i>	14
2.6.1.2 <i>Mecanismo de dirección de cremallera</i>	16
2.6.2 <i>Direcciones asistidas</i>	18
2.6.2.1 <i>Dirección hidráulica</i>	18
2.6.2.2 <i>Dirección eléctrica</i>	20
3. SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (HYUNDAI ACCCENT)	
3.1 Dirección eléctrica column drive (Hyundai Accent).....	33
3.2 Funcionamiento.....	33
3.2.1 <i>Funcionamiento de la dirección al aparcar</i>	35
3.2.2 <i>Funcionamiento de la dirección circulando a velocidad media</i>	36
3.2.3 <i>Funcionamiento de la dirección circulando a velocidad crucero</i>	37
3.2.4 <i>Funcionamiento de la dirección en "retrogiro activo"</i>	37

3.3	Partes del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS (Hyundai Accent).....	38
3.3.1	Unidad de control de dirección.....	39
3.3.2	Motor eléctrico.....	42
3.3.3	Sensor de par.....	44
3.3.4	Sensor de regímenes del motor de combustión (CMP).....	45
3.3.5	Sensor de velocidad del vehículo (VSS).....	46
3.3.6	Testigo luminoso de averías.....	47
3.4	Ventajas y desventajas del sistema de dirección asistida eléctrica.....	47
3.5	Comprobación y verificación de los problemas del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS.....	48
3.5.1	Con un SCANNER de la propia marca para fallas intangibles (códigos de averías).....	48
3.5.2	Análisis del sistema. EPS de acuerdo a las fallas tangibles que se presenten.....	52
3.5.2.1	Síntomas de los problemas surgidos en el sistema EPS.....	52
4.	CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (EPS)	
4.1	Construcción.....	57
4.1.2	Diseño del tablero.....	57
4.1.3	Diseño de la estructura.....	57
4.1.4	Selección del material y cálculo de la estructura.....	61
4.1.5	Simulación de la fuerza de resistencia al viraje de las ruedas.....	65
4.1.5.1	Calculo del módulo de rigidez de un resorte modelo.....	66
4.1.5.2	Diseño del resorte para el tablero didáctico.....	69
4.1.6	Proceso de soldadura y construcción de la estructura del tablero didáctico.....	76
4.2	Diseño del circuito electrónico.....	79
4.2.1	Circuito de conexión vía USB.....	80
4.2.1.1	Programacion del microcontrolador en diagrama de bloques.....	84
4.2.2	Simulación de la señal del sensor VSS.....	85
4.2.2.1	Conmutación de la señal de 5 a 12 voltios en alto.....	86
4.2.2.2	Programacion del microcontrolador en diagrama de bloques.....	90
4.2.3	Simulación de la señal del sensor CMP.....	91
4.2.3.1	Programacion del microcontrolador en diagrama de bloques.....	93
4.2.4	Circuito para la simulación de averías.....	94
4.2.5	Creación del circuito para la visualización de las señales.....	96
4.2.5.1	Creación de una fuente simétrica para la alimentación del osciloscopio.....	99
4.2.6	Comprobación y verificación de las señales.....	100
4.2.6.1	Comprobación de la señal del sensor VSS.....	100
4.2.6.2	Comprobación de la señal del sensor CMP.....	101
4.2.7	Fusibles de seguridad.....	102
4.3	Creación del software para el control del circuito electrónico en LabVIEW.....	103
4.3.1	Creación de un driver de reconocimiento del software.....	104
5.	ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE USUARIO	
5.1	Identificación de los componentes del tablero didáctico.....	107
5.2	Verificación de elementos del tablero didáctico antes de su funcionamiento.....	107
5.3	Instalación del driver y ejecución del programa.....	111
5.4	Operación del tablero didáctico.....	112

5.5	Condiciones de funcionamiento del tablero didáctico.....	113
5.5.1	<i>Primera condición de funcionamiento del tablero didáctico.....</i>	113
5.5.2	<i>Segunda condición de funcionamiento del tablero didáctico.....</i>	113
5.5.3	<i>Tercera condición de funcionamiento del tablero didáctico.....</i>	114
5.6	Simulación de averías dentro del sistema de dirección.....	115
5.6.1	<i>Corrección de averías.....</i>	115
5.7	Plan de mantenimiento e inspección.....	116
5.8	Normas de seguridad para el uso y funcionamiento del tablero didáctico.....	116

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	118
6.2	Recomendaciones.....	118

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Resumen de los síntomas, causas y soluciones del sistema EPS en base a fallas tangibles.....	49
2	Resumen de los síntomas, causas y soluciones del sistema EPS en base a fallas tangibles.....	54
3	Peso, fuerzas, y longitudes de cada uno de los elementos del sistema de dirección.....	58
4	Especificaciones de un tubo estructural cuadrado.....	61
5	Datos de ensayos aplicados al resorte.....	67
6	Valores obtenidos mediante la linealización.....	68
7	Materiales empleados para la construcción del tablero didáctico.....	79
8	Lista de elementos para la creación del circuito de conexión USB.....	83
9	Valor de la frecuencia en función de la velocidad.....	85
10	Lista de elementos para la construcción del circuito de simulación del sensor VSS.....	89
11	Tabla de frecuencias vs velocidades.....	91
12	Lista de elementos para la creación del circuito para la señal del sensor CMP.....	92
13	Lista de elementos para la creación del circuito para la señal del sensor CMP.....	95
14	Lista de elementos del circuito de osciloscopio.....	98
15	Lista de elementos para la construcción de la fuente simétrica.....	100
16	Planes de mantenimiento e inspección del tablero didáctico.....	116

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Sistema de dirección.....	4
2 Elementos de la dirección.....	5
3 Columna de ángulo variable.....	6
4 Columna de dirección desplazable.....	6
5 Columna enrejillada.....	7
6 Ángulo de salida de las ruedas.....	10
7 Ángulo de salida de una suspensión delantera.....	10
8 Ángulo de caída de las ruedas.....	11
9 Ángulo de caída de la ruedas de una suspensión independiente.....	11
10 Ángulo de avance de las ruedas.....	12
11 Efecto del ángulo de avance.....	12
12 Cotas conjugadas de las ruedas.....	13
13 Convergencia de las ruedas delanteras.....	13
14 Mecanismo de tornillo sin fin.....	15
15 Mecanismo Ross de palanca y leva.....	15
16 Mecanismo de tornillo y rodillo oblicuo.....	16
17 Sistema sin fin y bolas circulares.....	16
18 Mecanismo de dirección por cremallera.....	17
19 Despiece del mecanismo por cremallera.....	17
20 Sistema de dirección hidráulica.....	19
21 Sistema de dirección eléctrica.....	20
22 Funcionamiento de la dirección eléctrica.....	21
23 Sensor de ángulo de dirección.....	22
24 Esquema del sensor de ángulo de la dirección.....	23
25 Principio de funcionamiento del sensor de ángulo.....	24
26 Sensor de par de dirección.....	24
27 Esquema de un sensor de par.....	25
28 Ubicación del sensor VSS en la caja de cambios.....	26
29 Ubicación del sensor CKP en el vehículo.....	26
30 Motor eléctrico.....	27
31 Unidad de control.....	28
32 Curva característica de la fuerza de asistencia.....	28
33 Testigo de averías.....	29
34 Esquema eléctrico del sistema de dirección eléctrica.....	29
35 Sistema column drive.....	30
36 Sistema Pinion drive.....	31
37 Sistema rack drive.....	32
38 Dirección asistida eléctricamente (EPS)	33
39 Funcionamiento al aparcar.....	35
40 Funcionamiento a velocidad media.....	36
41 Funcionamiento a velocidad crucero.....	37
42 Funcionamiento en retrogiro activo.....	38
43 Partes del sistema de dirección asistida eléctricamente (EPS) de Hyundai.....	39
44 Unidad de control de dirección.....	39

45	Conectores de la unidad de control de dirección.....	40
46	Nomenclatura de los pines de la unidad de control de dirección.....	41
47	Diagrama de conexión.....	42
48	Motor eléctrico.....	42
49	Conector del motor eléctrico.....	43
50	Cables del motor eléctrico.....	43
51	Sensor de par.....	44
52	Señales del sensor de par.....	44
53	Conector del sensor de par.....	45
54	Señal del sensor CMP (Hyundai).....	46
55	Señal del sensor VSS.....	47
56	Dinamómetro.....	58
57	Diseño de la estructura.....	59
58	Vista lateral derecha.....	59
59	Vista frontal.....	60
60	Vista superior.....	60
61	Medidas de un tubo cuadrado.....	61
62	Estructura final dibujada.....	62
63	Estructura simplificada.....	62
64	Reacciones en los apoyos.....	63
65	Diagrama del momento flector.....	63
66	Diagrama del esfuerzo cortante.....	64
67	Diagrama de las fuerzas axiales.....	64
68	Diagrama de deflexión.....	65
69	Detalles de los resultados.....	65
70	Grafica de los ensayos realizados.....	67
71	Grafica linealizada.....	68
72	Diámetros principales de los ganchos.....	74
73	Resortes montados en el tablero didáctico.....	76
74	Soldadura por arco eléctrico.....	77
75	Tablero didáctico en el proceso de soldadura.....	77
76	Tablero didáctico terminado.....	78
77	Diagrama funcional del circuito electrónico.....	80
78	Pines del PIC 18F2550.....	81
79	Características del microcontrolador 18F2550.....	82
80	Diagrama de conexión del microcontrolador 18F2550.....	82
81	Circuito de conexión USB.....	83
82	Diagrama de flujo de la conexión USB.....	84
83	Pines del microcontrolador 16F628A.....	86
84	Diagrama de conexión para saturar la señal de 5V a 12 V.....	87
85	Diagrama de conexión para la simulación del sensor VSS.....	89
86	Circuito para la simulación del sensor VSS.....	89
87	Diagrama de flujo de la simulación del sensor VSS.....	90
88	Diagrama de conexión para la simulación del sensor CMP.....	92
89	Diagrama de flujo de la simulación del sensor CMP.....	93
90	Circuito de simulación del sensor CMP.....	94
91	Diseño de la placa impresa y circuito armado.....	94

92	Diagrama de conexión de un relé normalmente cerrado.....	95
93	Circuito para la simulación de averías.....	96
94	Diseño del circuito impreso para la simulación de avería.....	96
95	Diagrama de conexión del osciloscopio.....	97
96	Diseño de la placa para el osciloscopio.....	98
97	Circuito del osciloscopio en baquelita.....	98
98	Diagrama de conexión de la fuente simétrica.....	99
99	Diseño del circuito impreso de la fuente simétrica.....	99
100	Circuito de fuente simétrica.....	100
101	Comprobación de la señal simulada del sensor VSS.....	101
102	Comprobación de la señal simulada del sensor CMP.....	101
103	Comprobación de las dos señales simuladas.....	102
104	Panel frontal del software.....	104
105	Pasos para abrir VISA.....	104
106	Selección del tipo de conexión.....	105
107	Selección del dispositivo.....	105
108	Introducción de códigos del microcontrolador.....	106
109	LED`S del tablero didáctico.....	107
110	Revisión del nivel de electrolito en la batería.....	108
111	Fusibles de seguridad del tablero didáctico.....	109
112	Identificación de los potenciómetros de la fuente simétrica.....	110
113	Conector de la unidad de control.....	111
114	Instalación del driver.....	112
115	Verificación del interruptor de encendido y LED.....	112
116	Posición de cursores para la primera condición de funcionamiento.....	113
117	Posición de cursores para la segunda condición de funcionamiento.....	114
118	Posición de cursores para la tercera condición de funcionamiento.....	114
119	Interruptores virtuales activados (color verde).....	115

LISTA DE ABREVIACIONES

As	Ángulo de salida
Ac	Ángulo de caída
Aa	Ángulo de avance
CKP	Sensor de posición del cigüeñal
VSS	Sensor de velocidad del vehículo
CMP	Sensor de posición del árbol de levas
EPS	Sistema de dirección eléctrica
RPM	Revoluciones por minuto
Km/h	Kilómetros por hora
ECU	Unidad de control electrónica
Lb	Libras
PWM	Modulación de ancho de pulso
TIP	Transistor
INPUT	Entrada
OUT	Salida
ON	Encendido
OFF	Apagado
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
LED	Diodo emisor de luz
POWER	Funcionamiento
DTC	Código de diagnóstico

LISTA DE ANEXOS

- A** Programación del Microcontrolador PIC 18F2550
- B** Programación del Microcontrolador PIC 16F628A
- C** Guías de laboratorio del sistema de dirección asistida eléctricamente (EPS)
- D** Vistas de la estructura

RESUMEN

Se ha realizado la Construcción e Implementación de un Tablero Didáctico del Sistema de Dirección Asistida Eléctricamente EPS para la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH con el objetivo de contribuir a la formación académica y técnica del estudiante.

El tablero se basa en un sistema de dirección de un Hyundai Accent con asistencia eléctrica el cual fue montado sobre una estructura previamente diseñado para cumplir los requerimientos necesarios, además de ello se diseñó un circuito electrónico de simulación de un sensor de velocidad del vehículo, un sensor de revoluciones del motor de combustión y simulación de averías, que permite inducir en la dirección los fallos más frecuentes que se presentan en los sistemas de dirección asistida eléctricamente; para la elaboración del circuito se utilizó las herramientas de la electrónica moderna; con el fin de optimizar el uso del tablero didáctico, se ha considerado las normas de seguridad, operación y mantenimiento con las respectivas guías de laboratorio y manual de usuario.

En los ensayos y pruebas de funcionamiento del tablero didáctico se utilizó equipos de medida, siendo estos realizados en diferentes rangos y condiciones de funcionamiento logrando de esta manera proveer un tablero didáctico operando en condiciones reales; lo que permite al estudiante, basándose en las guías de laboratorio, realizar las prácticas en el orden electrónico como mecánico; con lo cual se beneficia en su formación profesional.

Para alargar la vida útil del tablero didáctico recordamos tomar en cuenta los respectivos mantenimientos que deben realizarse dentro del mismo.

ABSTRACT

The Construction and Implementation of a Didactic Board of the Electrically- Assisted Steering System EPS has been carried out for the Automotive Engineering School of the ESPOCH to contribute to the academic and technical formation of the student.

The board is based on the electrically- assisted Hyundai Accent Steering System which was mounted on a previously designed structure to meet the necessary requirements; moreover a simulation electronic system of a vehicle velocity sensor, a combustion motor revolution sensor and fault simulation were designed which permit to induce in the steering system the most frequent faults presented in the electrically- assisted steering systems; for the circuit elaboration modern electronic tools were used; to optimize the didactic board use, security, operation and maintenance norms have been considered with their corresponding lab guides and user manual.

In the essays and functioning tests of the functioning conditions, thus obtaining provision of a didactic board, operating under real conditions, which helps the student, based on the lab guides, carry out practices in both the electronic order and the mechanic one; with this his/her professional formation is benefitted.

To lengthen the service life of the didactic board it is recommended to take into account the respective maintenance to be carried out inside it.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se creó con la misión de formar profesionales con un nivel de conocimiento tecnológico, científico y humanístico en todas sus carreras y aportar en el desarrollo económico a nivel nacional.

Con la creación de la Escuela de Ingeniería Automotriz, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo oferta una carrera con la misión principal de formar profesionales competitivos y preparados científica y técnicamente para resolver los problemas suscitados dentro del parque automotor en el país.

Desde el año 1950 la electrónica ha desarrollado e implementado varios sistemas de control electrónico cada vez más sofisticados y precisos con el objetivo principal de reducir la contaminación ambiental en todo el mundo debido al calentamiento global. En nuestro país desde el año 2000 todos los autos incorporan sistemas electrónicos capaces de reducir el consumo de combustible y reducir la contaminación ambiental, y hasta el día de hoy el parque automotor ha crecido significativamente.

Por lo tanto la escuela de Ingeniería Automotriz se ve en la necesidad de formar profesionales capacitados para solucionar los diferentes problemas que se presentan en los diversos sistemas electrónicos del automóvil.

Con la implementación de este proyecto de la dirección asistida eléctrica EPS para la escuela de Ingeniería Automotriz, los estudiantes podrán realizar las diferentes demostraciones de funcionamientos y pruebas similares al sistema que se encuentra dentro de un automóvil.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica. Para la optimización del consumo de combustible y reducir los gases contaminantes al medio ambiente, el automóvil, cuenta con sistemas electrónicos enfocados a este objetivo; dentro de los sistemas que reducen el

consumo de combustible esta la dirección asistida eléctrica EPS el cual reduce hasta un 0,2 litros de combustible cada 100km lo cual representa un ahorro energético y menos contaminación por parte de los gases productos de la combustión que salen al medio.

Además, el sistema de dirección asistida eléctrica EPS no utiliza un fluido hidráulico con lo cual reduce el consumo del mismo y a su vez la contaminación ambiental, también debemos tomar en cuenta la seguridad de un vehículo al conducir, para lo cual este sistema de dirección ha sido diseñado con una estabilidad rectilínea y una respuesta rápida y suave en situaciones de peligro.

Con la implementación de este proyecto se podrá facilitar el estudio de dicho sistema mejorando la formación de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz debido a que el aprendizaje será teórico y práctico, de esta manera se dará a conocer el funcionamiento y las ventajas ambientales y económicas de este sistema.

1.2.2 Justificación social-económica. Con la realización de este proyecto del SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICA EPS, se mejorará el aprendizaje estudiantil y de esta manera corregir y disminuirlas falencias en la formación profesional.

Como la misión de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO es de formar profesionales competitivos, con el presente proyecto se cumplirá este objetivo ya que se formarán profesionales de un elevado nivel académico, científico y tecnológico para de esta manera contar con profesionales de un alto nivel de formación actualizada y sólida.

Además de cumplir con los objetivos de formación profesional, se pretende reducir costos y mejor equipamiento de los talleres de la Escuela de Ingeniería Automotriz, ya que este sistema por ser nuevo y novedoso su costo es elevado. Y de esta manera los fondos destinados a equipamiento del taller tengan otro propósito de inversión.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Construir e implementar de un tablero didáctico del sistema de dirección asistida eléctrica EPS para la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Estudiar y comprender todos los sistemas de dirección existentes dentro de un automóvil.
- Analizar el sistema de dirección asistida eléctrica EPS, su seguridad dentro del automóvil y protección que brinda al medio ambiente.
- Construir un tablero que facilite al estudiante su aprendizaje y formación integral y sólida de sus conocimientos teóricos – prácticos.
- Realizar las diversas pruebas, mediciones, verificaciones y control dentro de este sistema de dirección asistida eléctrica EPS.

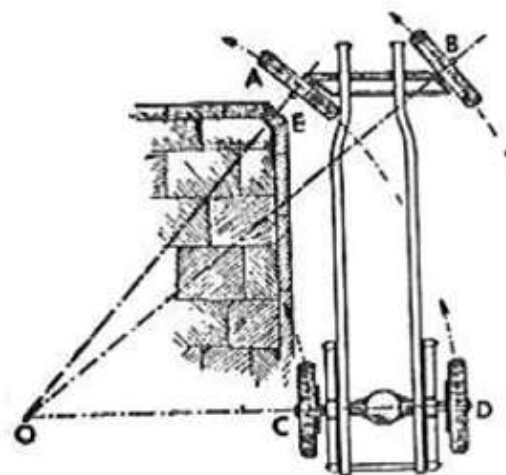
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de dirección

La dirección es uno de los sistemas más importantes dentro del vehículo ya que de esto depende la variación de orientación de las ruedas delanteras de acuerdo a las necesidades del conductor, además de esto transforma el movimiento circular del volante en movimiento rectilíneo de la cremallera o a su vez de la barra de acoplamiento dependiendo del sistema de accionamiento de la dirección.

Figura 1. Sistema de dirección [1]



En los primeros vehículos el accionamiento de la dirección se hacía mediante una palanca o manubrio mecánicamente.

Posteriormente se adoptó el volante de conducción que hasta hoy conocemos, además se logró darle firmeza al sistema consiguiendo cierta irreversibilidad, sobre todo cuando las ruedas se impactaban contra un objeto sólido o ante las irregularidades del camino, lo cual repercutían con violencia sobre el volante, haciéndole perder el rumbo al vehículo con gran facilidad.

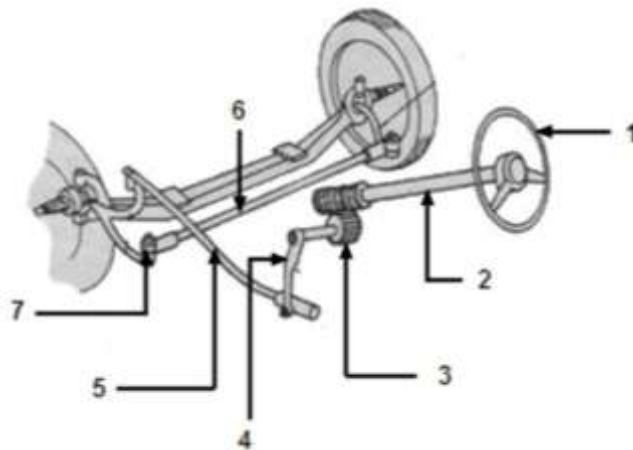
Además de esto la maniobra del volante debía de ser sencilla y suave de ejecutar por lo cual se montaron los primeros sistemas de desmultiplicación lo cual permitía que el sistema sea suave al momento de su operación.

La mezcla de estas dos características necesarias, produjo a lo largo de su evolución hasta nuestros días, sistemas más suaves, precisos y sensibles para el conductor, que debe percibir a través de él, el camino por el que transita.

2.2 Elementos del sistema de dirección [2]

Dentro del sistema de dirección, sus elementos principales para su accionamiento son los siguientes:

Figura 2. Elementos de la dirección



1 Volante; 2 Columna de la dirección; 3 Caja de dirección; 4 Biela; 5 Barra de mando; 6 Barra de acoplamiento; 7 Terminales de la dirección.

2.2.1 Volante de dirección. En este elemento se posa las manos del conductor para dirigir la trayectoria del vehículo.

Además es donde se origina el movimiento circular, el cual a su vez es transformado en la caja de dirección a un movimiento lineal.

2.2.2 Columna de dirección. Une el volante con la caja de dirección, transmite el movimiento circular, antiguamente se constituía de un solo elemento, en la actualidad está compuesta en dos o más partes como mecanismo de seguridad en caso de una colisión dentro de las cuales tenemos los siguientes tipos de columnas:

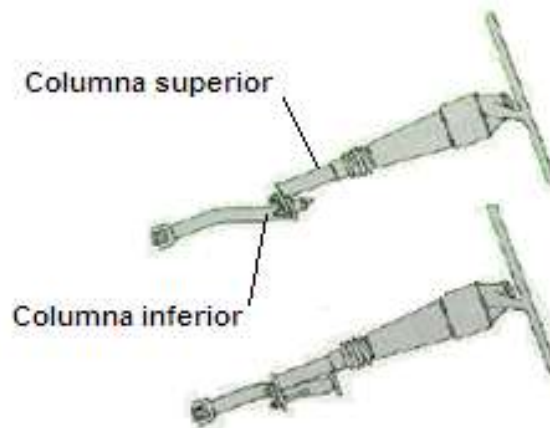
2.2.2.1 Columna de dirección de ángulo variable. Está compuesta por dos partes unidas por una junta universal que al momento del impacto cede su longitud absorbiendo el golpe, en este tipo de columna quien más daño sufre es la junta y su cruceta ya que en algunos casos se llegan deformarse o romper su base.

Figura 3. Columna de ángulo variable



2.2.2.2 Columna de dirección desplazable. Para este caso podemos observar que la columna de la dirección está formada por dos partes que, en el momento del impacto, la columna inferior se desplaza a largo de la columna superior absorbiendo la energía del impacto.

Figura 4. Columna de dirección desplazable



2.2.2.3 Columna de dirección enrejillada. Este tipo de columna de dirección varía su longitud en el momento del impacto debido a que tiene una región de rejilla en el medio, en el momento del impacto se comprime y amortigua el golpe.

De esta manera se garantiza la seguridad al conductor ante una colisión, evitando que el volante impacte de forma frontal en su pecho; además de esto las barras de dirección no sufrirá ningún tipo de daño ya que encoje sin ningún problema evitando que se rompan las juntas.

Figura 5. Columna enrejillada



2.2.3 Caja de dirección. Es donde se transforma el movimiento circular en un movimiento lineal, luego el movimiento lineal se transmite a la biela; en cuanto a su estructura interna existen diversos tipos de cajas de dirección, pero manteniendo el mismo principio de funcionamiento.

2.2.4 Biela. Elemento ubicado a la salida de la caja de dirección, se encarga de transmitir el movimiento lineal de la caja de dirección hacia la barra de mando, por tener un movimiento longitudinal (adelante y atrás) es una parte exclusiva de la caja de dirección de bolas recirculantes. Pero también hay otra disposición en la que el movimiento es transversal en el caso de suspensión independiente.

2.2.5 Barra de mando. Recibe el movimiento de la biela y lo transmite a los terminales de dirección y estas a su vez actúan sobre las manguetas. Cuando se trata de una suspensión independiente, la palanca de ataque, se encuentra en la mitad del travesaño delantero girando sobre un punto fijo.

2.2.6 Barra de acoplamiento. Esta acoplada al brazo de acoplamiento y a la palanca de ataque por medio de las rótulas, tanto el brazo de acoplamiento como la misma barra de acoplamiento están calculados para que; al orientar una rueda, la otra venga obligada a seguir con exactitud la trayectoria. Como mencionamos anteriormente en la suspensión independiente delantera esta barra se encuentra dividida en dos secciones.

2.2.7 Terminales de la dirección. Son uniones (tipo rótula) con cierta elasticidad para absorber las irregularidades del suelo, y tiene como función principal unirse con cada una de las ruedas directrices. La esfera de la rótula va alojada y engrasada en un casquillo de acero o plásticos pretensados.

Un fuelle estanqueizado evita la pérdida de lubricante. La esfera interior, va fija al brazo de mando o de acoplamiento y la esfera externa, encajada en el macho, oscila en ella, existen de dos tipos las permanentes herméticas que no requieren mantenimiento, y las abiertas que precisan ajuste y engrase periódico.

2.3 Evolución del sistema de dirección

Hasta finales de los años 30, los vehículos usaban eje delantero rígido. Con este primitivo sistema bastaba con poner pivotes en los extremos del eje, para que las ruedas pudieran girar. Una simple barra sólida se encargaba de transmitir el movimiento del timón a la caja de dirección y de allí a los brazos de dirección (terminales), para finalizar el recorrido en las ruedas.

Con el paso de los años se adoptaron sistemas asistencia para la dirección. En los últimos años se ha popularizado el sistema de dirección de cremallera, usado en los años 30 por BMW. Este tipo de dirección también puede utilizar asistencia.

En los años 40 y 50 se comenzaron a utilizar en los Estados Unidos, sistemas de asistencia de dirección, que sumados a la desmultiplicación lograda, hacían muy peligroso el conducir un vehículo, ya que la dirección quedaba demasiado suave y sensible.

Este problema motivó el desarrollo de dispositivos que endurecieran la dirección, a medida que aumentaba la velocidad de desplazamiento del vehículo.

2.4 Características de todo sistema de dirección

Cuando se gira el volante las manguetas deben orientar correctamente las ruedas de acuerdo al sentido que haya elegido el conductor, debido a esto el sistema de dirección es muy importante dentro de la seguridad del vehículo, para lo cual el sistema debe de cumplir con algunas cualidades para el conductor, a continuación se menciona las siguientes cualidades que son:

2.4.1 Seguridad. El sistema de dirección debe de ofrecer una total confianza al conducir, para lo cual depende de la fiabilidad del mecanismo y la calidad de los materiales empleados en su fabricación del mismo evitando deformaciones o fisuras cuando circule en carreteras de segundo orden ya que es donde soporta mayores impactos y vibraciones.

2.4.2 Suavidad. La suavidad de la dirección hace que tenga una buena reacción del sistema en casos de emergencia lo cual se consigue con un montaje preciso, una desmultiplicación adecuada y un perfecto engrase.

2.4.3 Precisión. Esta característica es muy importante para la conducción y se logra obtener haciendo que la dirección no sea ni muy suave ni muy dura, en el caso de que la dirección sea muy suave o muy dura se debe a las siguientes causas.

- Por excesivo juego en los órganos de dirección.
- Por alabeo de las ruedas, que implica una modificación periódica en las cotas de reglaje y que no debe de exceder de 2 a 3 mm.
- Por un desgaste desigual en los neumáticos (falso redondeo), que hace ascender a la mangueta en cada vuelta, modificando por tanto las cotas de reglaje.
- El desequilibrio de las ruedas, que es el principal causante del shimmy, consiste en una serie de movimientos oscilatorios de las ruedas alrededor de su eje, que se transmite a la dirección, produciendo reacciones de vibración en el volante.
- Por la presión inadecuada en los neumáticos, que modifica las cotas de reglaje y hace que el vehículo se desvíe a un lado.

2.5 Ángulos de la dirección [3]

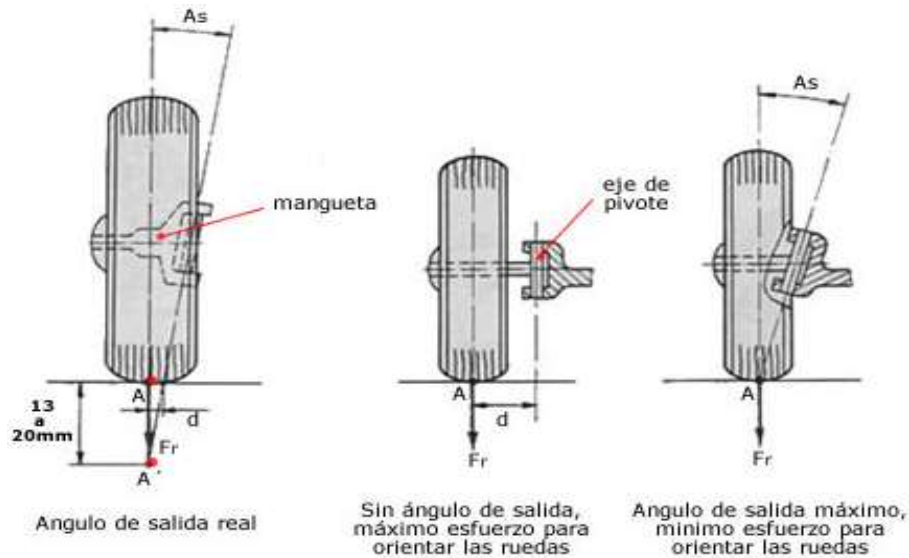
Los ángulos de la dirección o cotas de dirección son condiciones de funcionamiento para que la dirección funcione de la forma adecuada, de esta manera se logra que las ruedas obedezcan al volante de la dirección y no se altere su trayecto en línea recta o curvas debido a las irregularidades del terreno o a una aplicación del freno en forma progresiva o brusca.

Además de esto la dirección, luego de salir de una curva, al soltar el volante debe de retornar a la línea recta y mantenerse en la misma. Los ángulos de la dirección son los siguientes:

- Ángulo de salida.
- Ángulo de caída.
- Ángulo de avance.
- Cotas conjugadas.
- Convergencia de las ruedas.

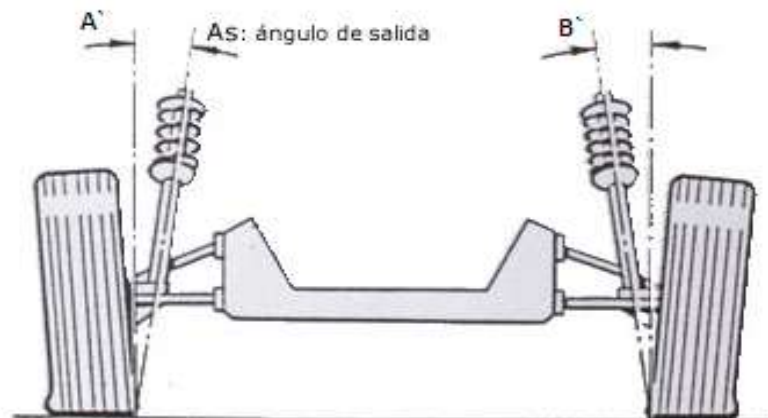
2.5.1 Ángulo de salida. El ángulo de salida A_s está formado por la prolongación del eje del pivote sobre el cual gira la rueda, este ángulo suele estar comprendido entre 5° y 10° , siendo en la mayoría de los vehículos de 6° a 7° . Con esta disposición del pivote, en el cual se mueve la mangueta, reducimos el esfuerzo del volante para orientar las ruedas.

Figura 6. Ángulo de salida de las ruedas



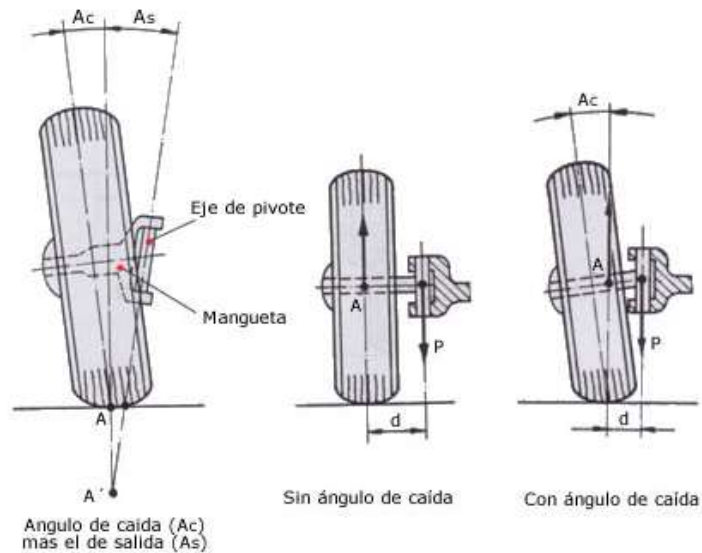
El esfuerzo será nulo cuando el eje del pivote pase por el punto A pero en la práctica no debería ser cero ya que la dirección sería inestable. De este ángulo resultan las fuerzas de retroceso el cual hace que la dirección tome la línea recta luego de salir de una curva. Para una suspensión delantera el ángulo de salida se formara entre el eje vertical A' y el eje vertical de la suspensión B' , en este caso los neumáticos se inclinan hacia afuera haciéndose más notorio el ángulo de salida A_s .

Figura 7. Ángulo de salida de una suspensión delantera



2.5.2 Ángulo de caída. Este ángulo se forma debido a que las manguetas no son horizontales si no que forman un ángulo hacia abajo al cual se le denomina caída despunte o sopié, lo cual hace que la rueda este apretado hacia el eje dando cierta convergencia a las ruedas delanteras hacia el suelo.

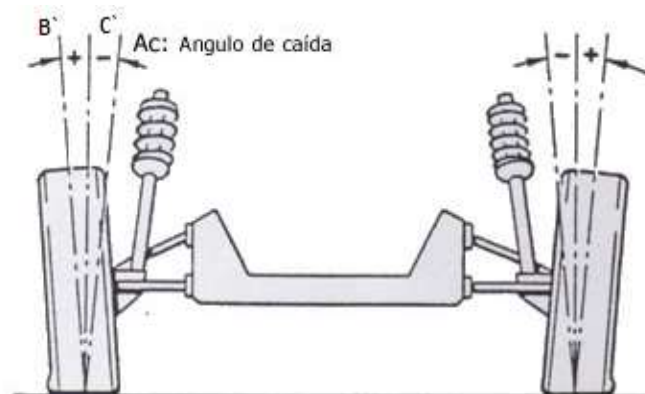
Figura 8. Ángulo de caída de las ruedas



Con este ángulo de caída lo que se busca es, reducir el brazo de palanca o la distancia “d”, al inclinar la rueda el punto de reacción A se desplaza hacia el pivote reduciendo la cota “d” con lo cual reduce el esfuerzo al que está sometido los rodamientos de la mangueta.

El valor del ángulo de caída A_c , que suele estar comprendido entre $1/4^\circ$ y 2° , hace disminuir el ángulo de salida A_s , aunque se mantiene dentro de unos límites suficientes.

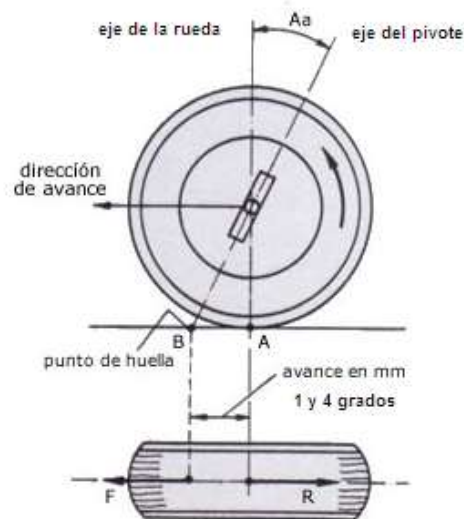
Figura 9. Ángulo de caída de la ruedas de una suspensión independiente



En la suspensión independiente el ángulo de caída (figura 9) se forma entre B' y C' donde B' es el eje de simetría de la rueda y C' es el eje de simetría del pivote.

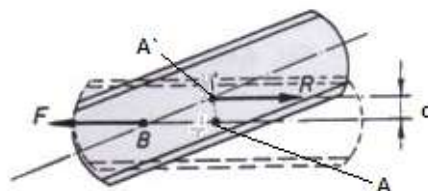
2.5.3 Ángulo de avance. El ángulo de avance Aa o caster se forma entre el eje vertical del centro de la rueda y la prolongación del eje del pivote; este ángulo variara según donde esté ubicado el motor por ejemplo tenemos; entre 0° y 4° para un vehículo con motor delantero; entre 6° a 12° por lo general es de $2^\circ \frac{1}{2}$ para un vehículo con motor trasero.

Figura 10. Ángulo de avance de las ruedas



Este avance proporciona a la dirección fijeza, si el avance es demasiado pequeño la dirección no tiene posición fija; si se invierte, la dirección reaccionara bruscamente y aparte de esto es dura y peligrosa, si el avance es demasiado excesivo puede dar un tirón constante a cualquier lado de la carretera.

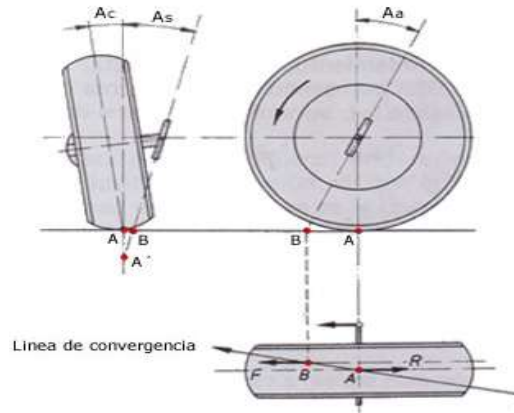
Figura 11. Efecto del ángulo de avance (Aa)



Al girar la dirección para tomar una curva la rueda se orienta como se puede ver en la figura 11 sobre el punto B, fijado para el avance, esto hace que el punto A se desplace hasta A' , creándose un par de fuerzas que tiende a volver a la rueda a su posición de línea recta ya que en esta posición, al ser " d " = 0, desaparece el par.

2.5.4 Cotas conjugadas. El objetivo de las cotas conjugadas (de salida y caída) es que el avance corte la línea de desplazamiento por delante y hacia la derecha del punto A.

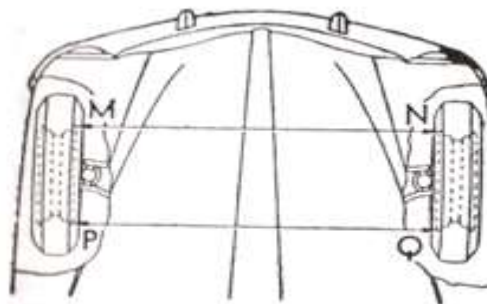
Figura 12. Cotas conjugadas de las ruedas



Por esta razón podemos decir, que para vehículos con tracción delantera la fuerza de empuje se transmite desde la parte posterior, esta fuerza se transmite hacia las ruedas por medio del pivote para vencer la fuerza de rodadura, mientras que para vehículos con tracción trasera la fuerza de empuje está aplicada al mismo punto de apoyo de la rueda lo cual no ejerce ningún efecto en la dirección. Pero si deben de tener un pequeño avance para mantener estable la dirección junto con las cotas de salida y caída y de esta manera tener una convergencia positiva o negativa.

2.5.5 Convergencia. Se lo conoce también como paralelismo de las ruedas delanteras, visto al automóvil desde la parte superior se puede apreciar la convergencia de las ruedas, donde, las ruedas delanteras se acercan por la parte delantera; es un valor que se mide en milímetros entre los puntos MN y PQ, donde hay una diferencia de 1 a 6 milímetros con propulsión delantera y de 0 a -2 milímetros con tracción trasera en este caso tendremos una divergencia.

Figura 13. Convergencia de las ruedas delanteras [4]



La convergencia tiene como función de compensar la tendencia de las ruedas a abrirse con la marcha y contrarrestar el esfuerzo que sufren los pivotes.

La convergencia, determinada en función del resto de las cotas de dirección, debe mantenerse dentro de los límites establecidos por el fabricante ya que, cualquier alteración produce la inestabilidad en la dirección. Una convergencia excesiva, produce un desgaste irregular en los neumáticos que se manifiesta por el desgaste lateral que se produce en su banda de rodadura.

Una excesiva convergencia respecto a la que nos da el fabricante, provoca un desgaste lateral en la zona exterior de los neumáticos. Una convergencia insuficiente provoca un desgaste lateral en el interior de los neumáticos.

2.6 Tipo de direcciones

Existen varios tipos de direcciones del automóvil clasificándose en dos grupos que son:

- Direcciones mecánicas.
- Direcciones asistidas.

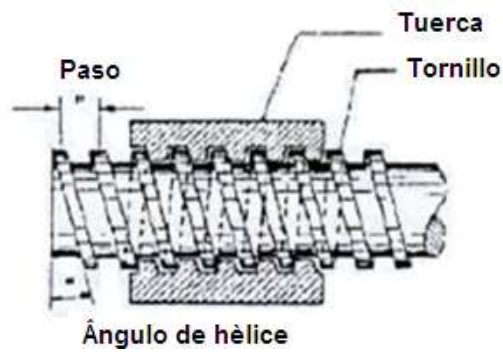
2.6.1 Dirección mecánica. Como su nombre lo dice, la dirección mecánica no tiene ningún tipo de asistencia como puede ser la asistencia de aire, líquido hidráulico o asistencia eléctrica, está constituido por componentes totalmente mecánicos y simples.

La dirección mecánica se diferencia por sus mecanismos y arquitecturas. Al referirnos al mecanismo de dirección cabe mencionar que para girar las ruedas existen cajas de dirección que funcionan con diversos mecanismos. Podemos clasificar en dos grupos que son:

- Mecanismos de dirección de tornillo sin fin.
- Mecanismo de dirección de cremallera.

2.6.1.1 Mecanismo de dirección de tornillo sin fin [5]. Este mecanismo consiste de un tornillo que engrana constantemente con una rueda dentada, donde, el tornillo sin fin se acopla a la columna de la dirección, mientras que la rueda dentada se acopla al brazo de mando.

Figura 14. Mecanismo de tornillo sin fin



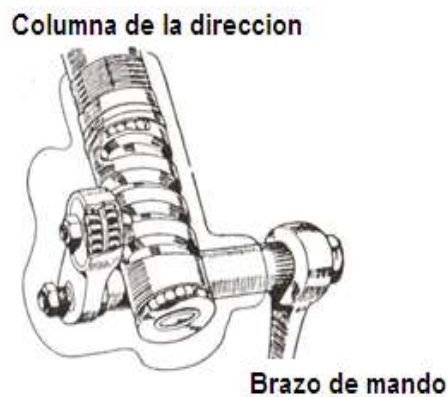
De esta manera reducimos el esfuerzo que debe efectuar el conductor al momento de accionar el volante de la dirección, al reducir el esfuerzo también conseguimos reducir el rendimiento mecánico en la dirección entre la rueda y el volante lo cual amortigua las irregularidades de la carretera que se transmite al volante.

El rendimiento mecánico se define como el coeficiente entre el par necesario para mover el sistema y el que haría falta si el rozamiento fuera nulo. Dentro de este sistema existen algunos tipos de mecanismos que son:

- Sistema Ross por palanca y leva.
- Por tornillo y rodillo.
- Tornillo sinfín con bolas circulares.

Sistema Ross por palanca y leva. Termina la columna de la dirección con un husillo en cuya ranura helicoidal se introduce el dedo cónico de la palanca que se mueve el brazo de mando, en este sistema todas las piezas se apoyan en cojinetes o bolas o rodillos el cual hace que el sistema sea suave al momento de accionar el volante.

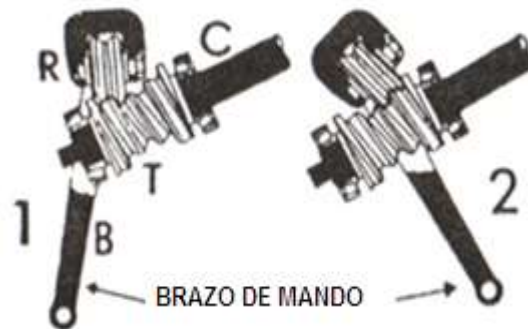
Figura 15. Mecanismo Ross de palanca y leva



Por tornillo y rodillo oblicuo. Muy parecido al de tornillo sin fin y tuerca, la diferencia es que el rodillo oblicuo R bascula según un arco de giro, el cuerpo del tornillo T es más estrecho en su parte media para ajustar el contacto con el rodillo oblicuo.

Una de las ventajas de este sistema es que presenta un menor desgaste debido a que el tornillo oblicuo se guía en el sin fin.

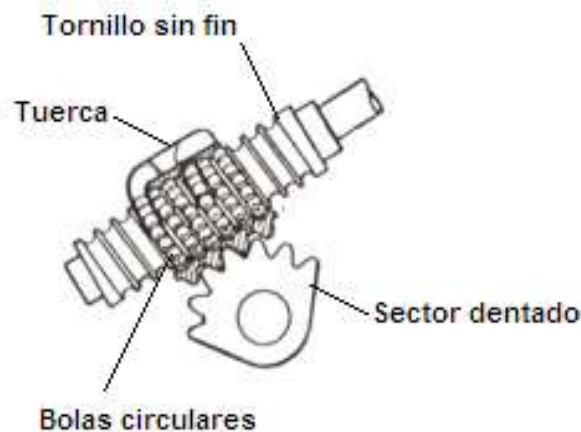
Figura 16. Mecanismo de tornillo y rodillo oblicuo



Tornillo sin fin y bolas circulares. En este sistema se utiliza una hilera de bolas circulares en el acoplamiento del sin fin y la tuerca, el objetivo de las bolas circulares es de reducir el desgaste y mejorar el deslizamiento entre los dos elementos, además de esto reduce el esfuerzo al momento de girar el volante.

El sector dentado está acoplado al brazo de mando mientras que el tornillo sin fin va acoplado a la columna de la dirección.

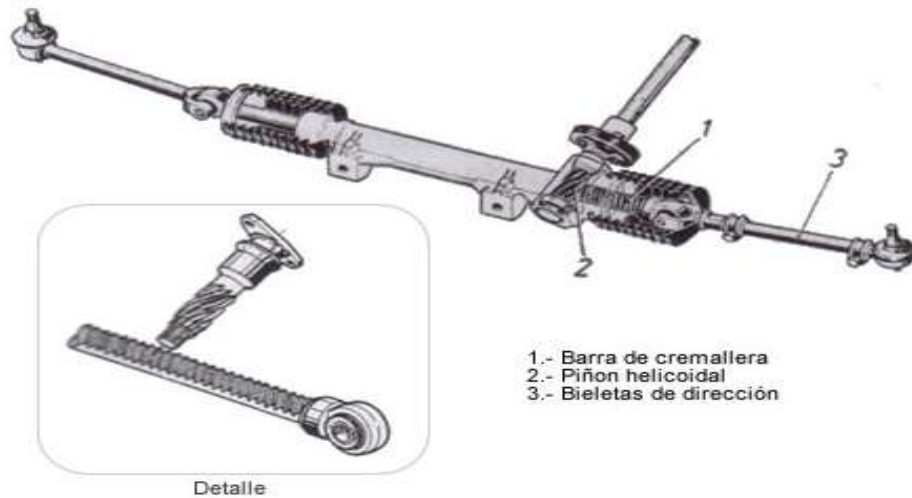
Figura 17. Sistema sin fin y bolas circulares



2.6.1.2 Mecanismo de dirección de cremallera. Debido a los múltiples mecanismos, palancas, articulaciones e inconvenientes que presentan los sistemas de dirección tanto en su acople como en su adaptación; los fabricantes y constructores se vieron en

la necesidad de crear una dirección simple en su mecanismo y su transmisión del movimiento del volante de dirección hacia las ruedas, para lo cual incorporaron el mecanismo de cremallera.

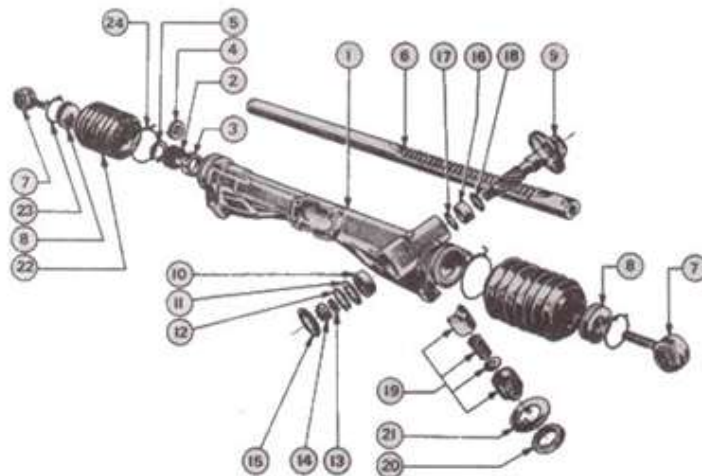
Figura 18. Mecanismo de dirección por cremallera



Se caracteriza por su sencillez del mecanismo desmultiplicador, rendimiento mecánico y simplicidad de montaje ya que va directamente acoplado sobre los brazos de las ruedas

En la figura 19 podemos ver el despiece completo del sistema de dirección por cremallera.

Figura 19. Despiece del mecanismo por cremallera



Consiste en una barra (6), donde hay labrada una cremallera en la que engrana el piñón (9), que se aloja en la caja de dirección (1), apoyado en los cojinetes (10 y 16). El piñón (9) se mantiene en posición por la tuerca (14) y la arandela (13); su reglaje se

efectúa quitando o poniendo arandelas (11) hasta que el clip (12) se aloje en su lugar. La cremallera (6) se apoya en la caja de dirección (1) y recibe por sus dos extremos los soportes de la articulación (7), roscado en ella y que se fijan con las contratuerca (8). Aplicado contra la barra de cremallera (6) hay un dispositivo (19), de rectificación automática de la holgura que pueda existir entre la cremallera y el piñón (9).

Este dispositivo queda fijado por la contratuerca (20).

2.6.2 Direcciones asistidas. Debido a los esfuerzos que se realizan para maniobrar un vehículo en movimiento y mucho más cuando el mismo está parado o a bajas velocidades.

Esto ocurre por el contacto del neumático con el suelo; mientras más contacto exista más esfuerzo se necesitara para poder maniobrar el vehículo, para lo cual se implementado las direcciones asistidas por comodidad y respuesta rápida de la dirección.

Estas direcciones ocupan una fuente de energía que puede ser el vacío del motor, la energía eléctrica (direcciones eléctricas) o la fuerza hidráulica, esta última es la más utilizada sobre todo en buses y camiones, entonces las direcciones asistidas se clasificarían en:

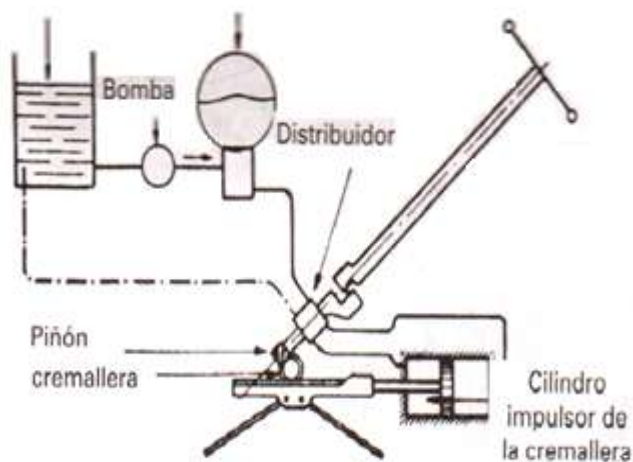
- Dirección hidráulica.
- Dirección eléctrica.

2.6.2.1 Dirección hidráulica. La dirección hidráulica es el más utilizado en la actualidad debido a su menor desmultiplicación lo cual hace muy sensible la dirección y así poder aplicar volantes de radios pequeños.

Este sistema consiste en acoplar a un mecanismo de dirección simple (dirección mecánica) un circuito hidráulico el cual a su vez va ser accionado por una fuerza hidráulica que es proporcionada por una bomba hidráulica.

En la figura 20 podemos observar las partes principales de una dirección hidráulica las cuales son una bomba de alta presión con su regulador de presión, distribuidor o válvula rotativa, cilindro impulsor o gato de doble efecto y cañerías hidráulicas. Dentro de los vehículos tanto de tipo sedan, pick up, SUV y todo terreno; este sistema de dirección es quien ha remplazado al sistema de dirección mecánica hasta el día de hoy debido a su efectividad.

Figura 20. Sistema de dirección hidráulica [6]



Depósito. Es donde se encuentra el líquido hidráulico con el cual funciona todo el sistema, dentro del vehículo es más visible ya se encuentra en la parte delantera del motor; por lo general el depósito está unido a la bomba por medio de una cañería flexible la cual a su vez suministra líquido hidráulico a la bomba. Existe otra cañería que es de retorno que viene desde el distribuidor.

Bomba de alta presión. Es la que suministra líquido hidráulico a presión a todo el sistema y puede ser de tipo paletas o engranajes con doble entrada y salida, es accionada por la polea del motor a través de una banda, está a su vez mueve la polea de la bomba de alta presión; puede proporcionar un caudal de 10 litros por minuto independientemente de la velocidad de rotación y una presión de 100 bares. En algunos casos la bomba de alta presión puede ser accionada por un motor eléctrico que está unido junto con la bomba que este caso es de engranajes. Cualquiera que sea el tipo de bomba siempre tendrá un regulador de presión.

Regulador de presión. Su función es de establecer la presión adecuada de mando. En condiciones de ralentí y bajas velocidades el regulador de presión permite el paso de toda la presión y caudal que es generada por la bomba, la velocidad de rotación de la bomba es baja, de esta manera se obtiene la mayor asistencia a la dirección. Mientras que en condiciones de línea recta y diferentes velocidades el regulador de presión reducirá el paso de presión y caudal ya que en estos casos aumenta la velocidad de rotación de la bomba y el sistema de dirección no se necesita mayor asistencia.

Distribuidor o válvula rotativa. Está ubicada dentro de un cuerpo o carcasa, entre la columna de la dirección y el piñón de cremallera, de esta manera el volante de la dirección acciona simultáneamente.

En su cuerpo o carcasa existen dos cañerías que comunican con el retorno o con el gato hidráulico. En condiciones de línea recta la válvula rotativa no es accionada ya que sobre el volante no se aplica un esfuerzo, de esta manera el gato hidráulico queda alimentado en sus dos caras ya que es de doble efecto y parte del líquido regresa al depósito por la cañería de retorno.

Y en condiciones de que se gire la rueda a cualquier lado la válvula rotativa corta la alimentación en una de las caras del gato hidráulico dependiendo a qué lado se haya girado el volante.

Gato de doble efecto. Su forma se asemeja a un amortiguador, es un cilindro en el cual se desplaza un pistón, tiene un vástago el cual está unido a uno de los extremos de la cremallera. Su función es de ayudar a mover las ruedas dependiendo del accionamiento del volante ya que recibe una fuerza hidráulica en sus dos caras del pistón.

2.6.2.2 Dirección eléctrica [7]. El sistema Eléctrica es ligero y compacto, en nuestro país existen vehículos que poseen este tipo de sistema como son el caso del Hyundai Accent, Volkswagen, Skodac Fabia, Toyota Corolla, Renault Megane.

Figura 21. Sistema de dirección eléctrica

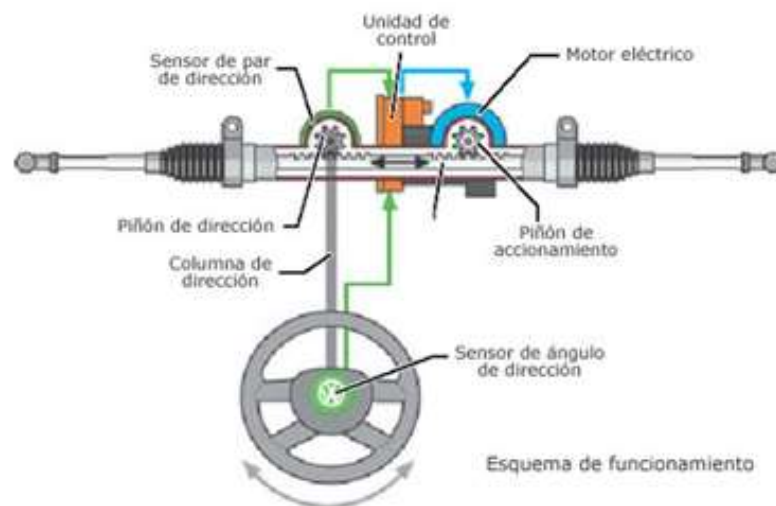


Sus partes son un motor eléctrico 1, sensor de par de dirección 2, rotulas de la dirección quienes van a direccionar los neumáticos 3, caja de dirección 4, una unidad de control para la dirección asistida 5, columna de la dirección 6, sensor de ángulo de la dirección 7 y por último el volante de la dirección 8.

Es un sistema sencillo ya que a diferencia del sistema de dirección hidráulica y mecánica elimina algunos elementos para la reducción de peso y disponer de más espacio en el vano-motor y a su vez reducir cargas al motor. En el grafico podemos observar las partes constitutivas de este sistema.

Funcionamiento. Este sistema ofrecer las mismas características de una dirección convencional o hidráulica como son la fácil maniobrabilidad de la dirección y comodidad también protege el medio ambiente ya que la fuerza de asistencia lo realiza un motor eléctrico con esto eliminamos es uso de liquido hidráulico.

Figura 22. Funcionamiento de la dirección eléctrica



De acuerdo con el gráfico el sistema de dirección eléctrica consta de un motor eléctrico él quien suministra el par de asistencia necesaria a la dirección por medio de un piñón de accionamiento dependiendo de las condiciones de manejo, el motor a su vez está controlado por una unidad de control quien se encarga de controlar el par de asistencia que entrega el motor, para lo cual esta unidad de control electrónico toma señales de referencia del sensor de par de la dirección, sensor de ángulo de la dirección, sensor de régimen del motor de combustión (CKP) y del sensor de velocidad del vehículo (VSS); además de esto en la unidad de control está incorporado las curvas características de asistencia.

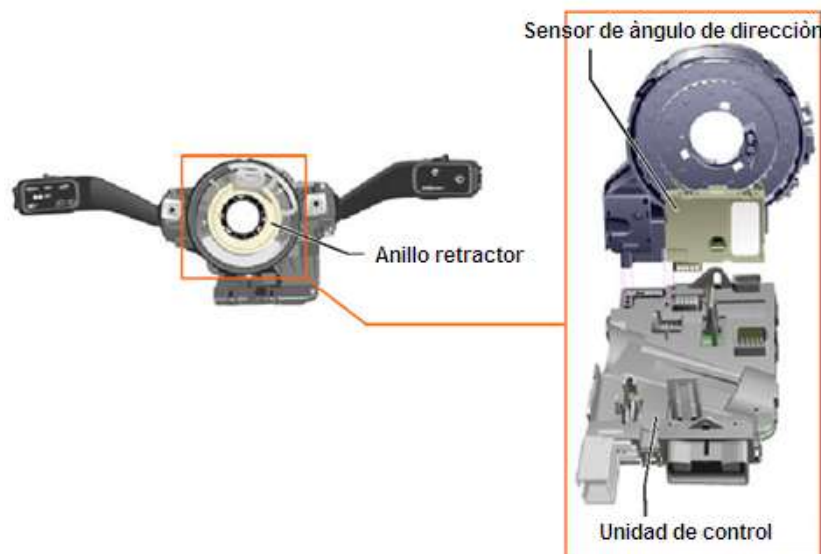
Entonces en el momento que el conductor gira el volante a la derecha o izquierda la unidad de control toma todas las señales las compara con sus datos almacenados y curvas características para excitar correctamente al motor y este a su vez pueda dar asistencia adecuada a la dirección dependiendo de las condiciones de manejo.

Partes del sistema de dirección eléctrica. Las partes principales que conforman este sistema son los siguientes

- Sensor de ángulo de dirección.
- Sensor de par de dirección.
- Sensor de régimen del rotor del motor eléctrico.
- Sensor de velocidad de marcha del vehículo.
- Sensor de régimen del motor.
- Motor eléctrico.
- Unidad de control para la dirección.
- Testigo luminoso de averías.

Sensor de ángulo de dirección [8]. El sensor de ángulo de dirección va situado detrás del anillo retractor con el anillo colector para el sistema airbag. Se instala en la columna de dirección, entre el mando combinado y el volante.

Figura 23. Sensor de ángulo de dirección



Envía la señal para la determinación del ángulo de dirección, destinándola a la unidad de control de dirección a través del CAN-Bus de datos. En la unidad de control de dirección se encuentra el analizador electrónico para estas señales.

Si se avería el sensor, se pone en vigor un programa de emergencia. La señal faltante se sustituye por un valor almacenado dentro de la unidad de control. La fuerza de asistencia para la dirección se conserva plenamente. La avería se indica encendiéndose el testigo de averías del cuadro de instrumentos.

Los componentes básicos del sensor de ángulo de dirección son:

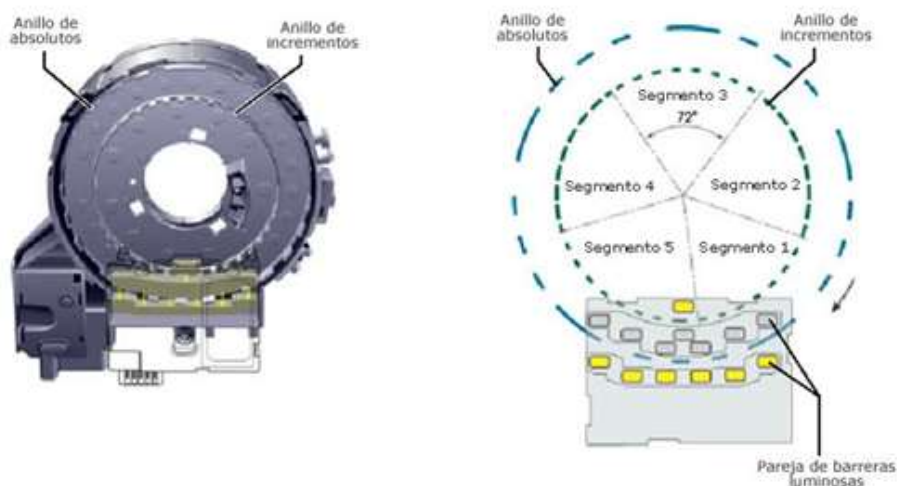
- Un disco de codificación con dos anillos.
- Parejas de barreras luminosas con una fuente de luz y un sensor óptico cada una.

El disco de codificación consta de dos anillos, el anillo exterior de valores absolutos y el anillo interior de valores incrementales.

El anillo de incrementos está dividido en 5 segmentos de 72° cada uno y es explorado por una pareja de barreras luminosas. El anillo de absolutos viene a determinar el ángulo, es explorado por 6 parejas de barreras luminosas.

El sensor de ángulo de dirección puede detectar 1044° de ángulo (casi 3 vueltas de volante). Se dedica a sumar los grados angulares. De esa forma, al sobrepasar la marca de los 360° reconoce que se ha ejecutado una vuelta completa del volante.

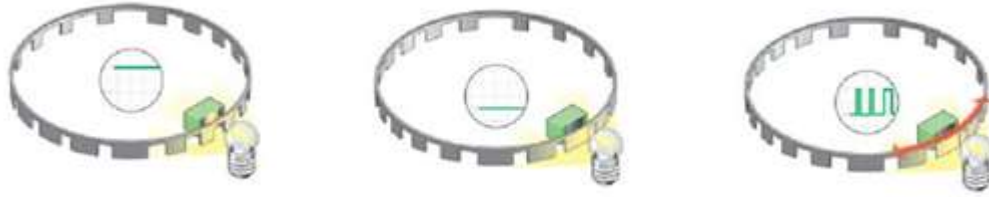
Figura 24. Esquema del sensor de ángulo de la dirección



Para simplificar la explicación en la figura inferior tenemos un anillo de incrementos, el sensor óptico y una fuente luminosa la cual funciona con el principio de barrera luminosa, entonces cuando la luz incide en el sensor al pasar por una almena del anillo se engendra una señal de tensión. Al cubrirse la fuente luminosa se vuelve a

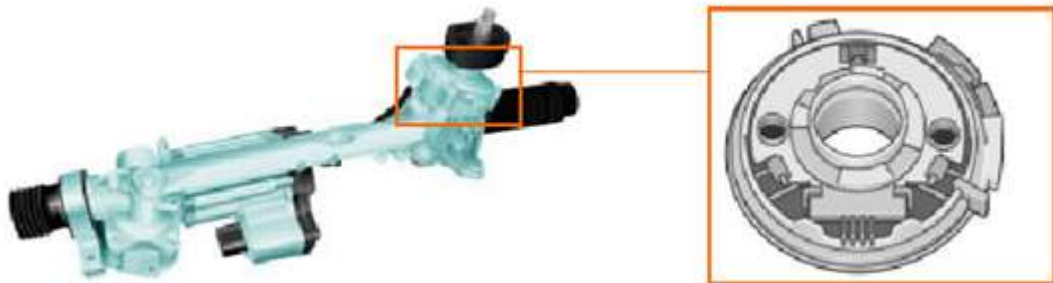
interrumpir la tensión de la señal. Al mover ahora el anillo de incrementos se produce una secuencia de señales de tensión.

Figura 25. Principio de funcionamiento del sensor de ángulo



Sensor de par de dirección. El par de mando a la dirección se mide con ayuda del sensor de par de dirección directamente en el piñón de dirección o en la columna de la dirección esto depende de la configuración que tenga el sistema de dirección, trabaja según el principio magnetorresistivo. Está configurado de forma redundante, para establecer el mayor nivel de fiabilidad posible.

Figura 26. Sensor de par de dirección

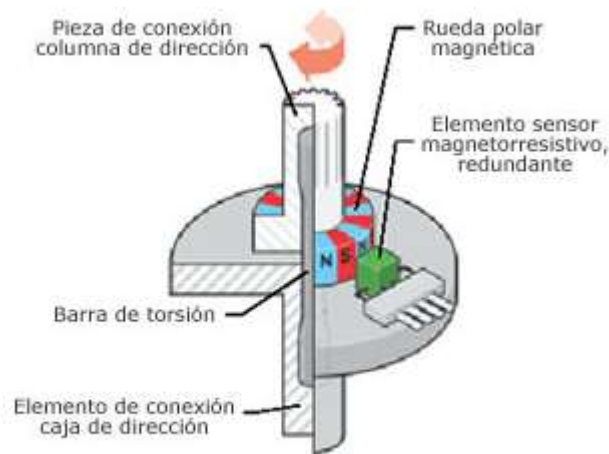


El sensor del par acopla la columna y la caja de dirección a través de una barra de torsión, posee una rueda polar magnética, en la que se alternan 24 zonas de diferente polaridad magnética; en este caso tenemos dos polos diferentes. La contrapieza es un elemento sensor magnetorresistivo, que va fijado a la pieza de conexión hacia la caja de la dirección.

Al ser movido el volante se decalan ambas piezas de conexión entre sí en función del par que interviene.

En virtud de que con ello también se decala la rueda polar magnética con respecto al elemento sensor, resulta posible medir el par aplicado a la dirección de esa forma y se lo puede transmitir a la unidad de control en forma de señal.

Figura 27. Esquema de un sensor de par



Si existe una avería el sensor de par de dirección se tiene que sustituir la caja de la dirección. Si se detecta un defecto se desactiva la fuerza de asistencia de manera suave.

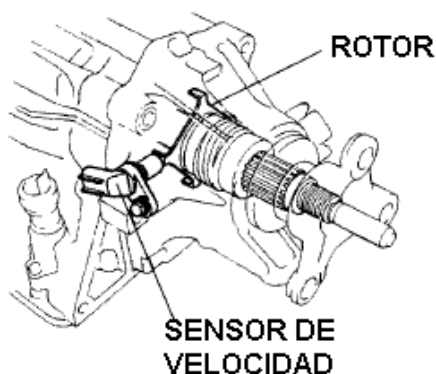
Sensor de régimen del rotor del motor eléctrico. El sensor de régimen del rotor es parte integrante del motor para la dirección asistida. No es accesible por fuera. El sensor de régimen del rotor trabaja según el principio magnetorresistivo, su diseño es igual que el del sensor del par de dirección. Detecta el régimen de revoluciones del rotor del motor eléctrico; este dato se necesita para poder excitar el motor con la debida precisión.

En caso de que el sensor tenga una avería se emplea la señal de la velocidad de ángulo de dirección. La asistencia a la dirección se reduce de forma segura. De esta manera se evita que se interrumpa la asistencia en caso de averiarse el sensor.

Sensor de velocidad de marcha del vehículo [9]. La señal de la velocidad de marcha del vehículo es suministrada por la unidad de control para ABS más específicamente por el sensor VSS, que en el caso de tener ABS este sensor se encuentra detrás de la punta eje de cada rueda, mientras que si no cuenta con el sistema ABS este sensor se encuentra en la caja de cambios sobre el eje secundario o salida.

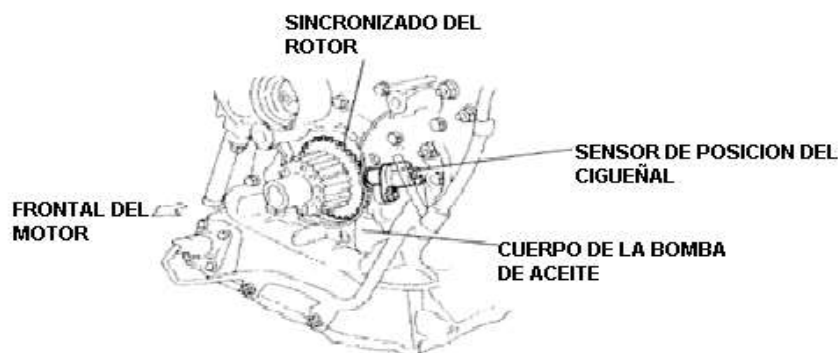
Si se ausenta la señal de velocidad de marcha del vehículo se pone en vigor un programa de marcha de emergencia.

Figura 28. Ubicación del sensor VSS en la caja de cambios



Sensor de régimen del motor. El sensor de régimen del motor es un sensor de efecto Hall. Va atornillado a la carcasa de la brida de estanqueidad del cigüeñal, está sobre el volante de inercia del motor. También se lo conoce como CKP.

Figura 29. Ubicación del sensor CKP en el vehículo



La señal del sensor de régimen del motor es utilizada por la unidad de control del motor para detectar el número de vueltas del motor y la posición exacta del cigüeñal. Puede darnos dos tipos de ondas como son una onda cuadrada o senoidal.

Si se daña el sensor de régimen del motor (CKP), la dirección pasa a funcionar en un estado de falla. La avería hace que el testigo luminoso se encienda.

Motor eléctrico [10]. El motor eléctrico desarrolla un par máximo para entregar la fuerza de asistencia a la dirección. No poseen campo magnético permanente ni excitación eléctrica por ser un motor asíncrono.

La característica que les da el nombre reside en una diferencia entre la frecuencia de la tensión aplicada y la frecuencia de giro del motor. Estas dos frecuencias no son iguales, en virtud de lo cual se trata de un fenómeno de asincronía. Los motores asíncronos son de construcción sencilla (sin escobillas), lo cual los hace muy fiables

en su funcionamiento. Tienen una respuesta muy breve, con lo cual resultan adecuados para movimientos muy rápidos de la dirección.

El motor eléctrico va integrado en una carcasa de aluminio. A través de un engranaje de sin fin y un piñón de accionamiento ataca contra la cremallera y transmite así la fuerza de asistencia para la dirección.

En el extremo del eje por el lado de control va instalado un imán, al cual recurre la unidad de control para detectar el régimen del rotor. La unidad de control utiliza esta señal para determinar la velocidad de mando de la dirección.

Figura 30. Motor eléctrico



Unidad de control para la dirección. La unidad de control para dirección asistida va fijada directamente al motor eléctrico, con lo cual se suprime un cableado complejo hacia los componentes de la servodirección.

Su funcionamiento se basa en las señales de entrada, tales como:

- La señal del sensor de ángulo de dirección.
- La señal del sensor de régimen del motor.
- El par de dirección y el régimen del rotor.
- La señal de velocidad de marcha del vehículo.
- La señal de que se identificó la llave de contacto en la unidad de control.

La unidad de control calcula las necesidades momentáneas de la fuerza de asistencia para la dirección y excita correspondientemente el motor eléctrico.

No todas las unidades de control pueden venir juntas al motor eléctrico, ya que depende del tipo de arquitectura o construcción que posea el sistema de dirección.

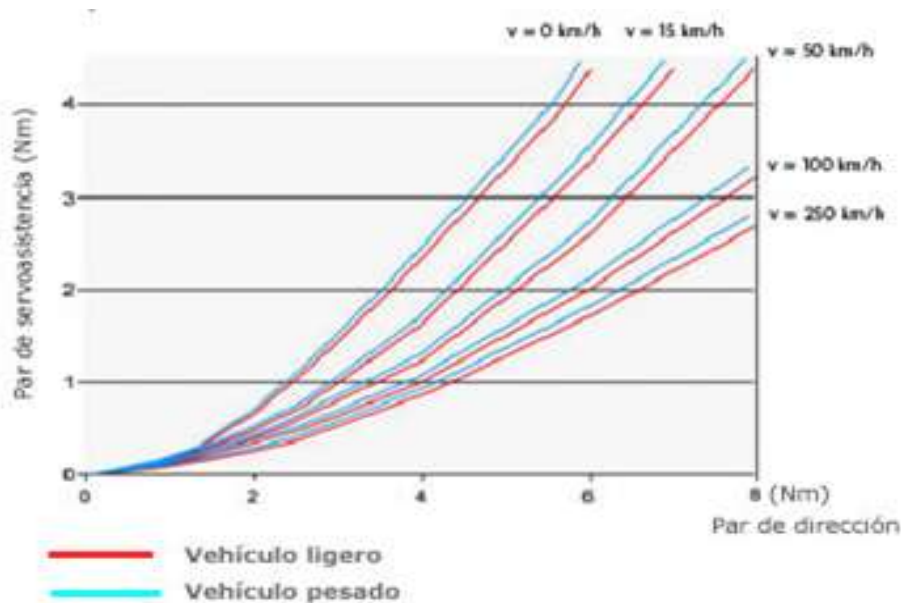
Figura 31. Unidad de control



La regulación de la servoasistencia para la dirección se lleva a cabo recurriendo a una familia de curvas características almacenada en la memoria de la unidad de control permanente. Esta memoria abarca hasta 16 familias diferentes de curvas características.

Una familia contiene cinco diferentes curvas asignadas a diferentes velocidades del vehículo (por ejemplo 0 km/h, 15 km/h, 50 km/h, 100 km/h y 250 km/h). Una curva característica de la familia expresa el par de dirección, debido a esto el motor eléctrico aporta más o menos fuerza de asistencia para hacer más fácil y preciso el manejo de la dirección teniendo en cuenta variables como por ejemplo: el peso del vehículo.

Figura 32. Curva característica de la fuerza de asistencia



Si se avería la unidad de control de la dirección asistida se la puede sustituir en algunos casos cuando la misma no se encuentre junto al sistema; si esta junto al sistema deberá remplazarse con todo.

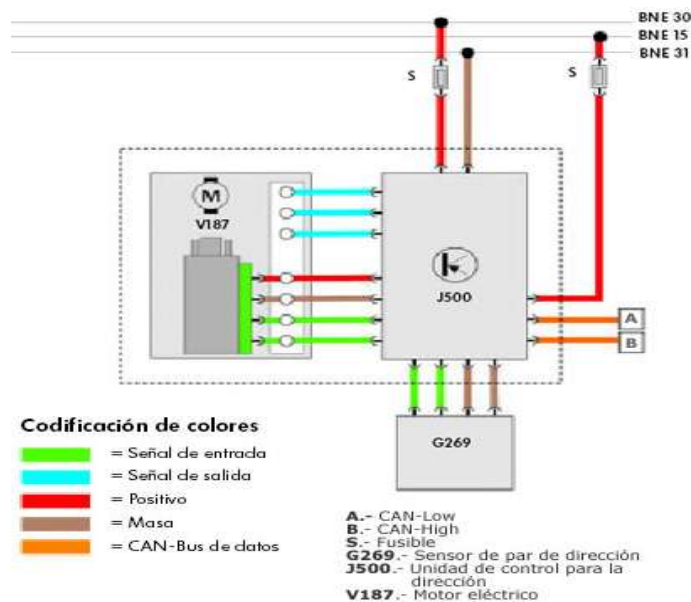
Testigo luminoso de averías. El testigo luminoso se encuentra en el cuadro de instrumentos del vehículo. Se utiliza para avisar sobre funciones anómalas o fallos en la dirección asistida eléctricamente. El testigo luminoso puede adoptar dos diferentes colores para indicar funciones anómalas. Si se enciende en amarillo, significa un aviso de menor importancia. Si el testigo luminoso se enciende en rojo hay que acudir de inmediato a un taller. Cuando el testigo luminoso se enciende en rojo suena al mismo tiempo una señal de aviso acústico en forma de un gong triple.

Figura 33. Testigo de averías



Al conectar el encendido, el testigo se enciende en rojo, porque el sistema de la dirección asistida electromecánica lleva a cabo un ciclo de auto-chequeo. Sólo a partir del momento en que llega la señal procedente de la unidad de control para dirección asistida, según la cual el sistema trabaja de forma correcta, es cuando el testigo se apaga. Este ciclo de auto chequeo tarda unos dos segundos. El testigo se apaga de inmediato en cuanto se arranca el motor.

Figura 34. Esquema eléctrico del sistema de dirección eléctrica



Aplicación de la asistencia. Así como existen diferentes tipos de direcciones tanto mecánicas como hidráulicas la dirección eléctrica no es la excepción, también existen diferentes tipos o arquitecturas de direcciones eléctricas y se clasifican por su aplicación o lugar de de asistencia en el siguiente grupo:

- Column drive.
- Pinion drive.
- Rack drive.

Column drive. En este sistema de dirección eléctrica la asistencia se aplica en la columna de la dirección es idéntico a un mecanismo de tornillo sin fin y bolas circulares con sector dentado, claro que en este caso el sector dentado está acoplado al motor eléctrico más no al brazo de mando como en los casos anteriores.

Figura 35. Sistema column drive [11]



Este tipo de sistema es el más económico en cuanto se refiere a costo, además el más seguro ya que se encuentra debajo del habitáculo de la carrocería para proteger de las altas temperaturas, golpes y suciedad tanto al motor y a la unidad de control. Sus características son:

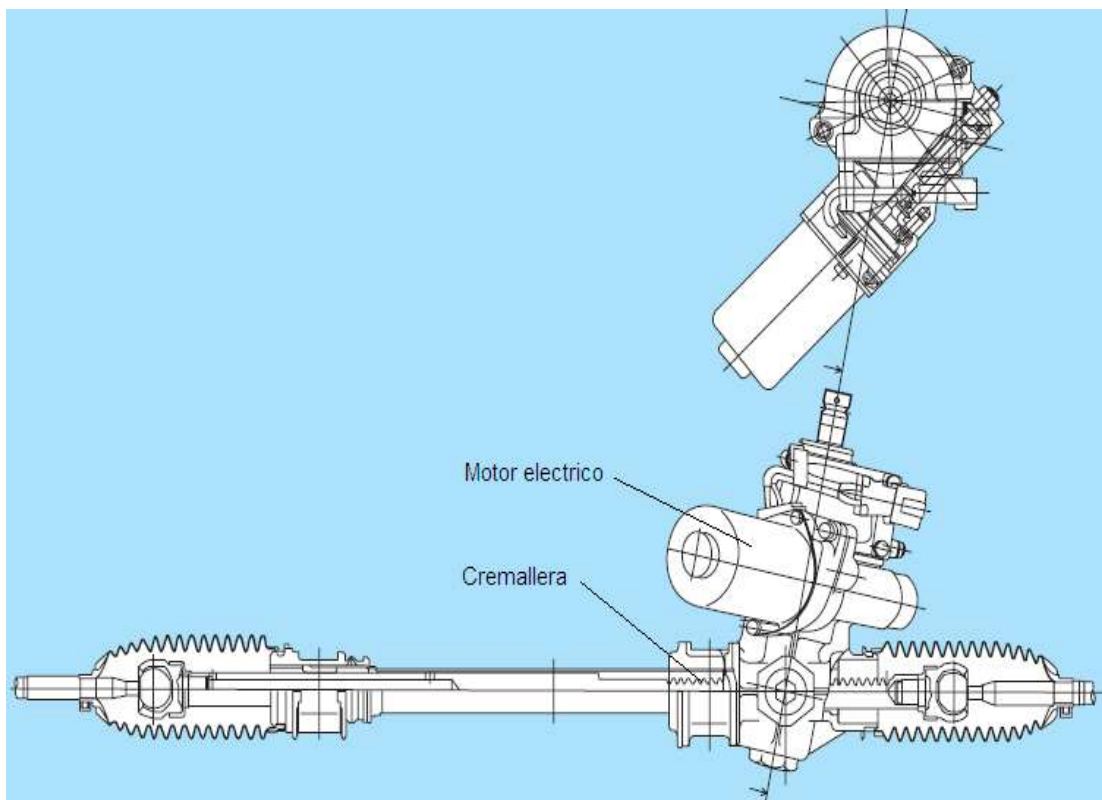
- Par de asistencia en la columna es de 70N/m o 8500N.
- Debido a que es un sistema de tornillo sin fin el ruido en la columna es mínimo.
- Como el motor y la unidad de control están juntos se evita cableado extenso.
- Peso mínimo de 7 kg.

Pinion drive. Este tipo de asistencia se lo realiza directamente al piñón de la cremallera parecido al sistema column drive pero en este caso el motor eléctrico está en el pie de la dirección como se observa en la figura 36.

En este sistema el módulo de control electrónico se encuentra dentro del automóvil (en el habitáculo) ya que todo el sistema está expuesto al calor el golpe y la suciedad, en cuanto a costo se refiere es costoso debido a que este tipo de dirección es resistente a golpes leves o caídas no muy fuertes, uno de los inconvenientes son el extenso cableado desde el modulo de control electrónico hacia el motor eléctrico; la características de este sistema son:

- Se puede usar columnas de dirección, de cualquier tipo, que absorben el impacto en el caso de una colisión.
- El par de asistencia en la columna es de 65N/m.
- Peso de 11 kg.
- Existen varios tipos de motores eléctricos dependiendo del tipo de vehículo.
- Se puede utilizar en vehículos hasta los 1500kg del peso propio.

Figura 36. Sistema Pinion drive [12]



Rack drive. Este tipo de asistencia se ocupa en vehículos de gama alta, la asistencia se lo realiza directamente en la cremallera de la dirección, entonces tendríamos un sistema de doble piñón el cual eleva su costo, el modulo de control electrónico se encuentra dentro del vehículo como en el caso del pinion drive para protegerlo.

Figura 37. Sistema rack drive [13]



Estos sistemas no pueden ser sometidos a caminos rigurosos o muy extremos, el sistema se encuentra en la cremallera por lo cual es muy sensible al sucio, lodo o agua

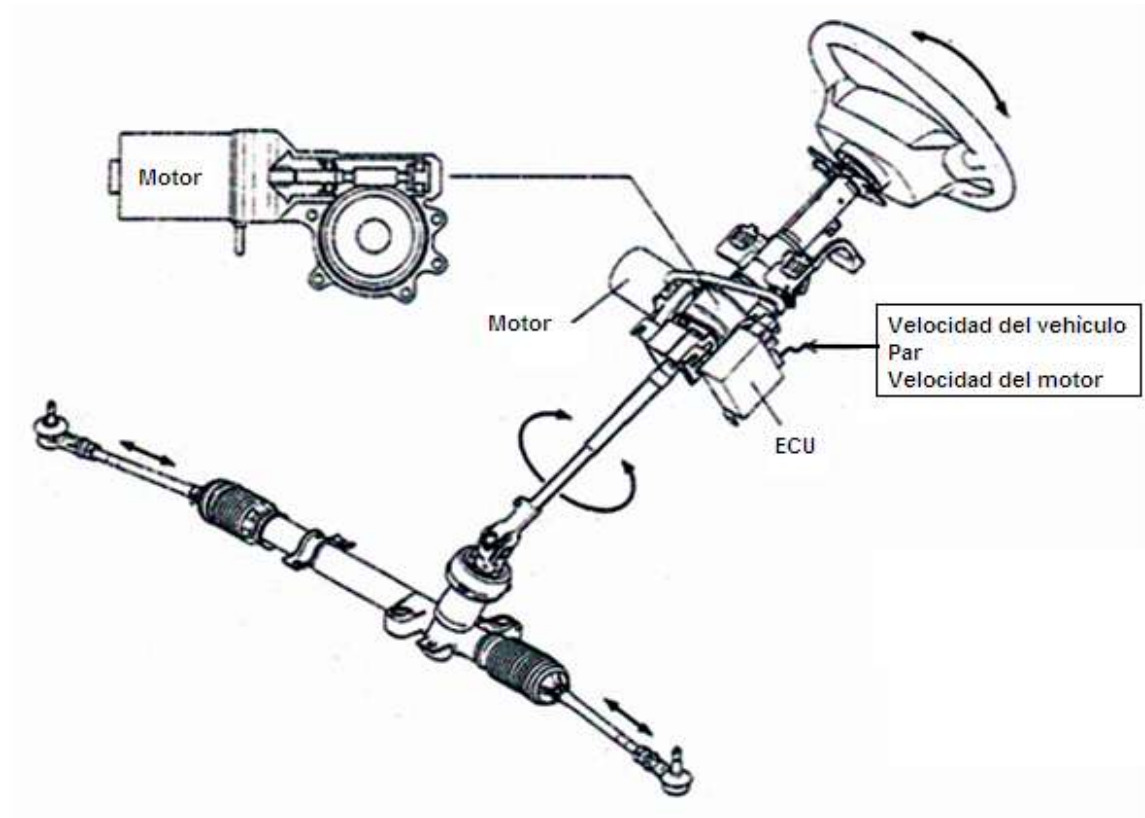
Sus principales características son:

- Par de asistencia en la cremallera es de 7700N.
- Peso de este sistema es de 16kg.

CAPÍTULO III

3. SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (HYUNDAI ACCENT)

Figura 38. Dirección asistida eléctricamente (EPS) [14]



3.1 Dirección eléctrica column drive (Hyundai Accent)

Como ya lo mencionamos en el capítulo anterior la dirección eléctrica tiene variaciones en su diseño de aplicación de la fuerza de asistencia, en este caso específico tenemos el tipo de asistencia **Column Drive** como podemos ver en la figura 38, que a diferencia de los otros sistemas es el más comercial debido a que es liviano, menos costoso y su funcionamiento no es complejo además viene incorporado en vehículos de gama media como son: Hyundai Accent, Toyota Corolla, Skoda, Toyota RAV4, Volkswagen, en modelos del 2008 en adelante; toma cuatro señales principales para su funcionamiento.

3.2 Funcionamiento

El sistema funciona con cuatro señales principales como son:

- Señal de velocidad del vehículo.
- Señal de regímenes del motor de combustión (rpm).
- Señal principal del sensor de par de dirección.
- Señal auxiliar del sensor de par de dirección.

Al encender el vehículo, la unidad de control de la dirección toma las señales mencionadas; la señal de velocidad del vehículo, la cual es generada por el sensor VSS, este sensor informara a la unidad de control de dirección la velocidad a la cual el vehículo se está moviendo; mientras que la señal de revoluciones del motor (rpm) es generado por el sensor CKP, pero en este tipo de vehículo la señal es tomada del sensor CMP.

Estas dos señales ingresan a la unidad de control de dirección para hacer una comparación entre los datos que ingresan (señales) y las curvas características que están implementadas en la misma unidad.

En el momento que el conductor gira el volante hacia la derecha o izquierda, un sensor de par de dirección el cual está incorporado en la columna de dirección capta la magnitud de torsión, y dependiendo a qué lado se haya girado el volante generara una señal principal o auxiliar, entonces al igual que en el caso anterior, ingresan estas dos señales, las cual será comparado por la unidad de control de dirección.

Para cada condición de manejo y dependiendo de los datos que ingresen habrá una curva característica específica para esa condición.

Luego de que los datos de las señales ingresan a la unidad de control de dirección y son comparados con las curvas características, la misma unidad de control de dirección excita el motor eléctrico de la dirección y esta a su vez generará una fuerza de asistencia necesaria dependiendo de las condiciones de manejo.

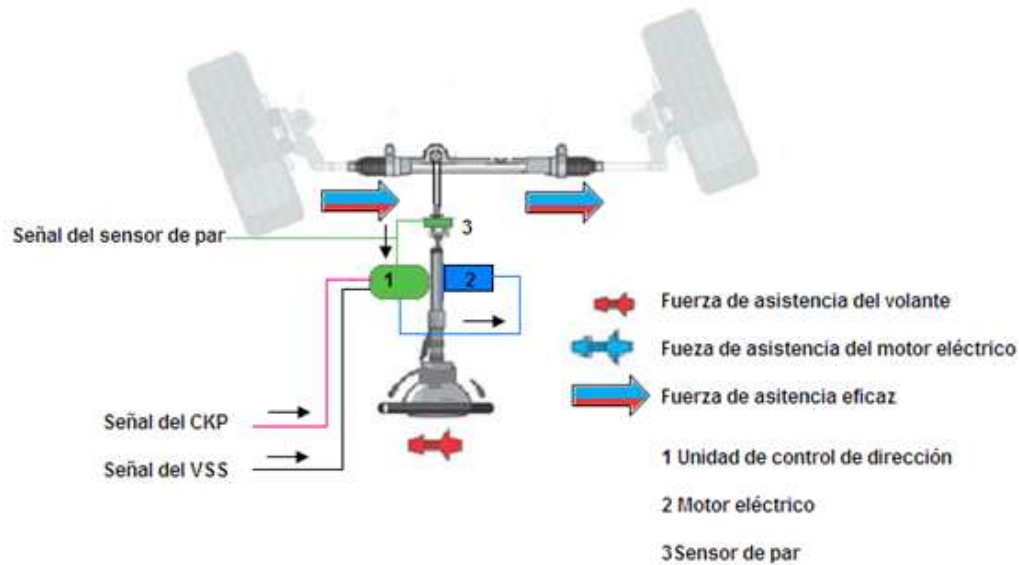
Cabe mencionar que la fuerza de asistencia se aplica en la columna de la dirección ya que es un sistema column drive, para lo cual el motor eléctrico está acoplado a la columna de la dirección mediante un sistema de tornillo sin fin con bolas circulares.

De esta manera en la columna de dirección tendremos dos fuerzas de asistencias, una generada por el motor eléctrico y otra por el propio conductor, estas dos fuerzas se transmite a la cremallera. Tanto el motor, sensor de par y la unidad de control de dirección forman un mismo conjunto.

3.2.1 Funcionamiento de la dirección al aparcar. El conductor gira el volante en un ángulo mayor a 180° para poder aparcar.

El sensor del par de dirección detecta la torsión que se genera e informa a la unidad de control de la dirección de que se está aplicando al volante un par de fuerza intenso. En esta parte es donde se genera una señal principal y auxiliar.

Figura 39. Funcionamiento al aparcar



El sensor de velocidad VSS informa que la velocidad actual del vehículo es de 0 km/h.

El sensor CMP informa que las revoluciones a las cuales está girando el motor de combustión interna las cuales están entre 700 a 800 rpm (ralentí).

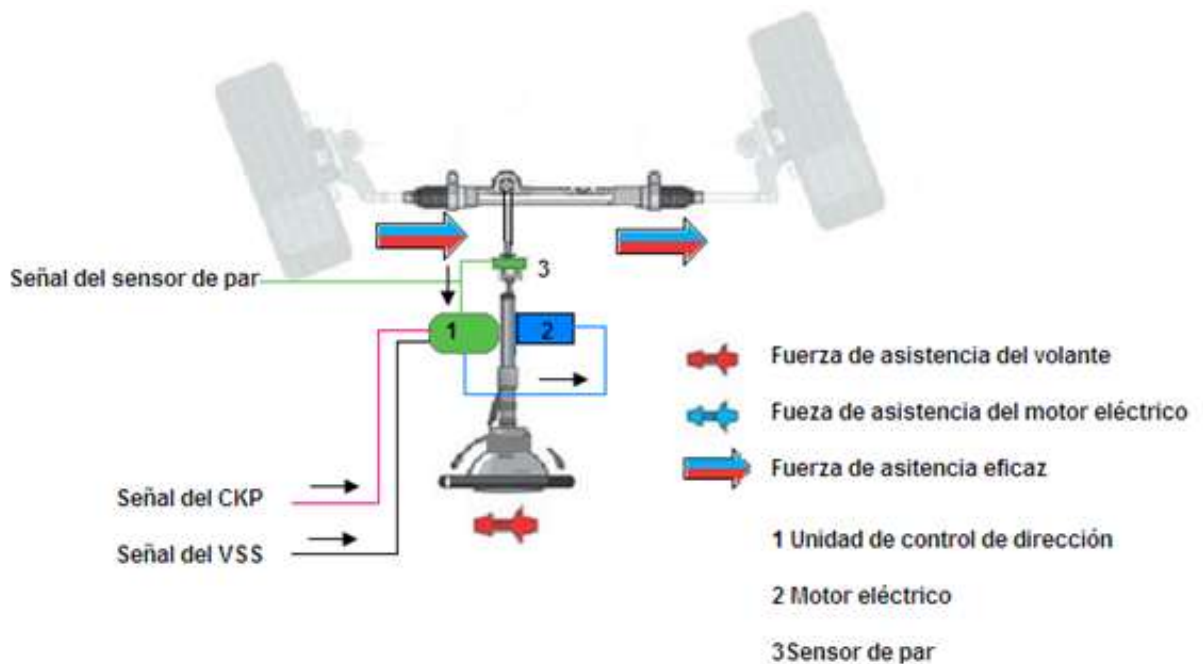
Previo análisis de los datos correspondientes al par de dirección (señal principal y auxiliar), la velocidad de marcha del vehículo de 0 km/h, las revoluciones del motor de combustión que es de 700 a 800 rpm, en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 0$ km/h, la unidad de control de dirección determina la necesidad de aportar una intensa fuerza de asistencia y excita correspondientemente el motor eléctrico.

En las maniobras de aparcamiento se aporta la fuerza de asistencia máxima para la dirección a través del piñón del motor eléctrico que actúa sobre la columna de dirección.

La suma del par aplicado al volante y el par de fuerza de asistencia máxima viene a ser el par eficaz para el movimiento de la cremallera en maniobras de aparcamiento.

3.2.2 Funcionamiento de la dirección circulando a velocidad media. El conductor mueve el volante al recorrer una curva o línea recta a velocidad media entre 50 y 70 km/h.

Figura 40. Funcionamiento a velocidad media



El sensor de par de dirección detecta la torsión e informa a la unidad de control de que hay un par de torsión de mediana intensidad, aplicado al volante de la dirección.

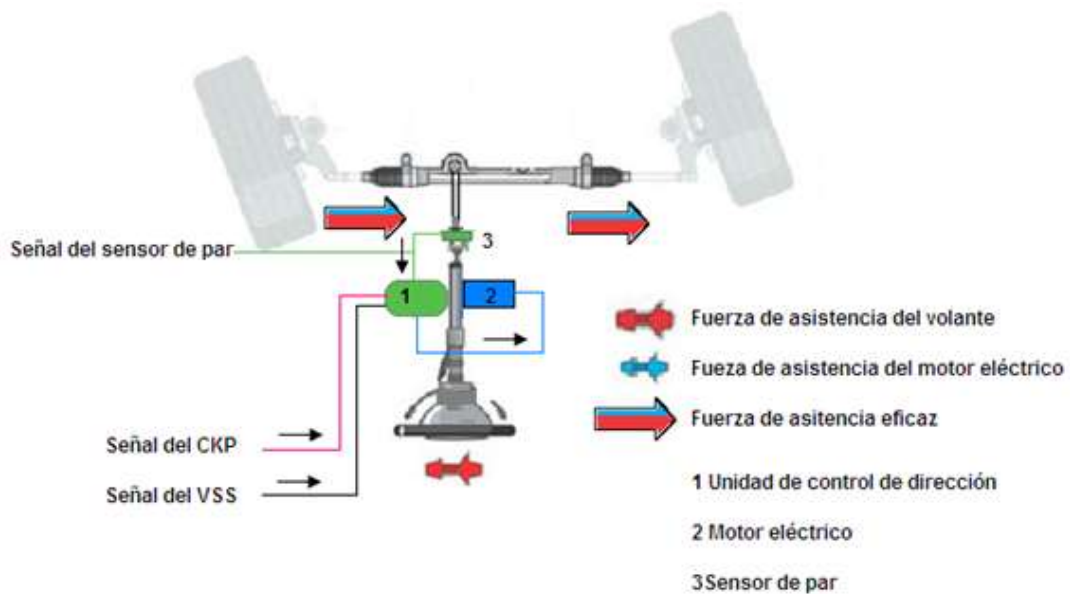
Previo análisis del par de dirección de mediana magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 50 a 70 km/h, el régimen del motor de combustión, así como en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 50$ a 70 km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar un par de fuerza de asistencia de mediana magnitud y excita correspondientemente el motor eléctrico.

Al recorrer una curva se produce así una fuerza de asistencia de mediana magnitud para la dirección a través del segundo piñón, que actúa longitudinalmente sobre la cremallera.

La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y el par de fuerza de asistencia de mediana magnitud viene a ser el par eficaz en la caja de la dirección para el movimiento de la cremallera al recorrer una curva en el tráfico urbano. En la figura podemos observar como la flecha que indica la fuerza de asistencia eficaz nos indica que tanto el par aplicado al volante como la fuerza de asistencia están actuando por igual.

3.2.3 Funcionamiento de la dirección circulando a velocidad crucero. Esta condición de manejo sucede cuando el vehículo se encuentra en una velocidad comprendida entre 90 a 100 km/h, el conductor mueve el volante en pequeña magnitud.

Figura 41. Funcionamiento a velocidad crucero



El sensor de par de dirección detecta la torsión y avisa a la unidad de control de que está aplicado un leve par de dirección al volante.

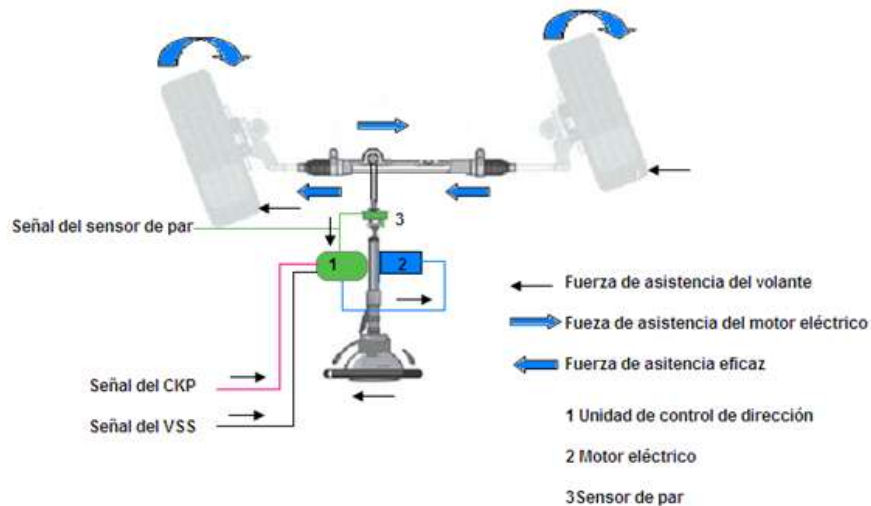
Previo análisis del par de dirección de baja magnitud, la velocidad de marcha del vehículo de 90 a 100 km/h, el régimen del motor de combustión, en función de las curvas características implementadas en la unidad de control para $v = 90$ a 100 km/h, la unidad de control determina la necesidad de aportar ya sea un par de fuerza asistencia leve, y excita correspondientemente el motor eléctrico.

Al mover la dirección circulando en carretera se realiza de esta forma la fuerza de asistencia de baja magnitud o bien no se aporta ninguna asistencia a través del piñón del motor eléctrico que actúa longitudinalmente sobre la cremallera.

La suma compuesta por el par de giro aplicado al volante y un mínimo par de fuerza de asistencia viene a ser el par eficaz para el movimiento de la cremallera en el momento de maniobrar a una velocidad crucero.

3.2.4 Funcionamiento de la dirección en "retrogiro activo". Esta condición se da cuando el vehículo sale de una curva corta o larga.

Figura 42. Funcionamiento en retrogiro activo



Si el conductor reduce el par de fuerza de asistencia al circular en una curva, la torsión se relaja correspondientemente.

La geometría del eje hace que se produzcan fuerzas de retrogiro en las ruedas viradas. Las fricciones en el sistema de la dirección y del eje suelen hacer que las fuerzas de retrogiro sean demasiado bajas como para poder devolver las ruedas a su posición de marcha recta.

Previo análisis del par de dirección (señal auxiliar y principal), la velocidad de marcha del vehículo, el régimen del motor de combustión, así como en función de las curvas características implementadas en la unidad de control, ésta calcula el par que debe aportar el motor eléctrico para el retrogiro de las ruedas. El motor es excitado correspondientemente y las ruedas vuelven a la posición de marcha recta.

3.3 Partes del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS (Hyundai Accent)

Este sistema de dirección asistida consta con las siguientes partes principales que son:

- Unidad de control de dirección.
- Motor eléctrico.
- Sensor de par.
- Sensor de regímenes del motor (CMP).
- Sensor de velocidad del vehículo (VSS).
- Testigo luminoso de averías (luz MIL).

Figura 43. Partes del sistema de dirección asistida eléctricamente (EPS) de Hyundai



Los sensores CMP y VSS se encuentran en el vehículo mas no en el sistema de dirección eléctrica pero son fundamentales para su funcionamiento. En este tipo de sistema, el sensor de velocidad del volante de dirección no se mencionará ya que no forma parte del sistema.

3.3.1 *Unidad de control de dirección.* Es quien gobierna todo el sistema de dirección asistida eléctrica, en este sistema está ubicada junto al motor eléctrico con lo cual se evita el exceso de cableado entre el motor eléctrico y los demás elementos.

Figura 44. Unidad de control de dirección



Su función es de calcular las necesidades momentáneas de una fuerza de asistencia para la dirección. Calcula la intensidad de corriente excitadora necesaria dependiendo de los datos que ingresen (señales), los cuales son comparados con las respectivas

curvas características para cada situación de conducción y excita correspondientemente el motor eléctrico.

La unidad de control tiene integrado un sensor térmico para detectar si la temperatura de funcionamiento. Si la temperatura supera los 80°C o desciende por debajo de -20°C el motor eléctrico no dará asistencia en ninguna condición de manejo ya que la unidad de control de dirección se apagará automáticamente.

Al momento que se conecta la llave de encendido el testigo de averías iluminará y cuando se arranca el motor se desactiva automáticamente, todo esto sucede debido a que la unidad de control registra los datos de entradas como error luego las compara con las curvas características, en el momento de comparación de datos es que se enciende el testigo de averías; esto sucede solo en el momento de arrancar el motor.

La unidad de control almacena códigos de avería y pueden ser borrados con un escáner adecuado o automáticamente luego de 60 ciclos de conducción sin que el sistema presente falla.

Figura 45. Conectores de la unidad de control de dirección



En figura 45 se puede observar que en su exterior tiene tres conectores los cuales son para el motor eléctrico, suministro de voltaje de la batería y el conector principal de la misma unidad de control de dirección.

El conector principal de la unidad de control de dirección es quien recibe las señales envía hacia el interior de la unidad y luego transmite corriente excitadora al motor eléctrico a través de su conector. En la figura 46 se detalla cada uno de los pines y su nomenclatura.

Figura 46. Nomenclatura de los pines de la unidad de control de dirección [15]

Nº de clavija	Terminal	Función
1	ENC	ENC1
2	SP	Señal de velocidad del vehículo
3	TSV	Suministro de sensor de par
4	TSM	Señal principal de sensor de par
5	TSE	Masa de sensor de par
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	IUP	-
11	-	-
12	IGP	Señal de velocidad del motor
13	-	-
14	TSS	Señal auxiliar de sensor de par
15	-	-
16	MONI	Diagnóstico (Línea K)
17	-	-
18	-	-
19	-	-
20	DNL	Indicador

Nº de clavija	Terminal	Función
21	+B	Suministro de la batería
22	MASA	Masa de la batería
23	M+	Motor (+)
24	M-	Motor (-)

En la figura 47 podemos observar el diagrama de conexiones de la unidad de control de dirección.

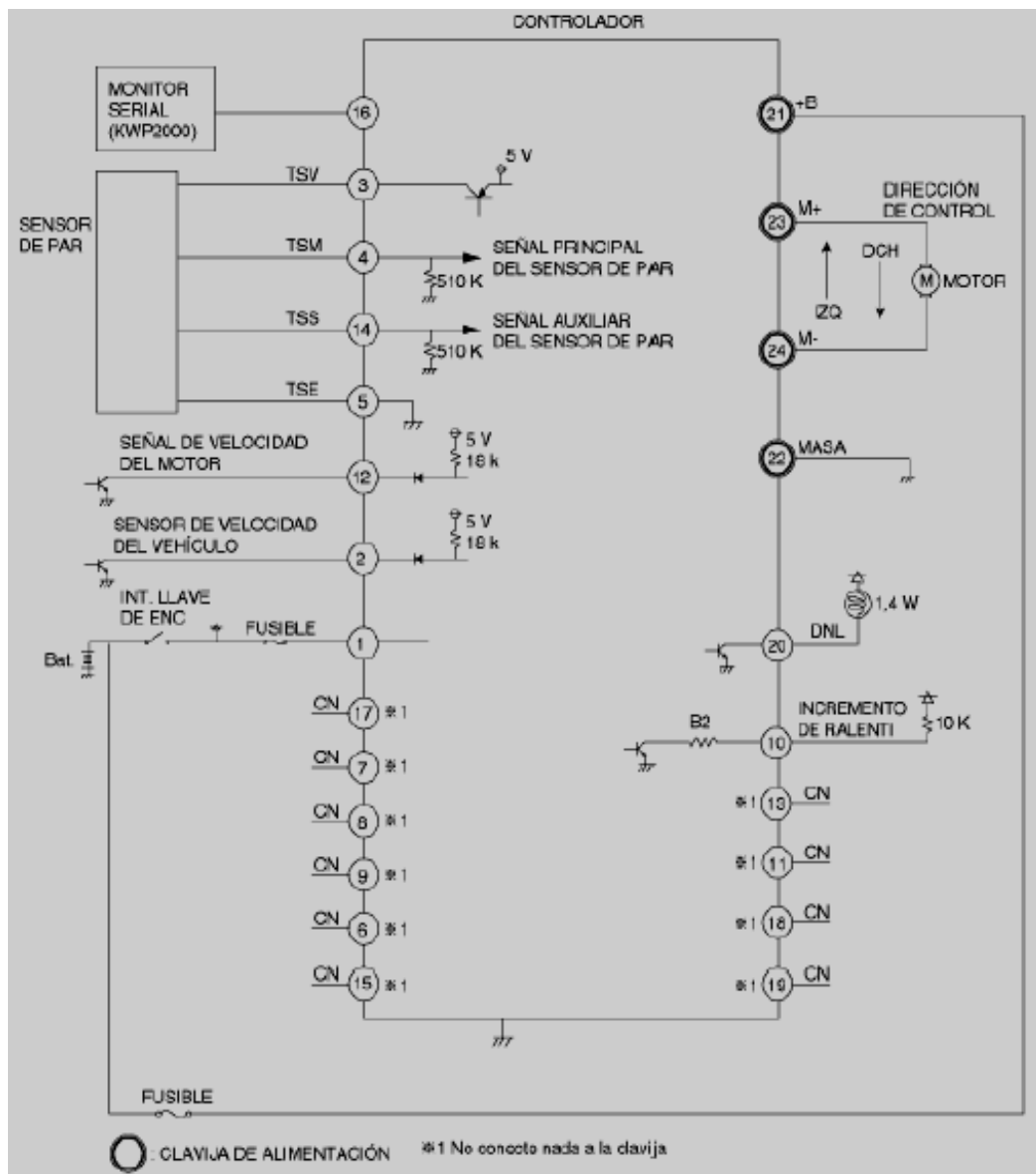
Los círculos (●) que tiene una marca más clara como son las clavijas o pines nº 21, 23, 24 son de alimentación y el nº 22 es masa de la batería.

Los pines marcados con un asterisco (*) indica que al pin no se conecta nada.

Para la conexión dentro del tablero didáctico debemos tomar en cuenta que no tenemos una línea CAN Bus; debido a esto los pines 16 y 20 tampoco se los tomará en cuenta.

En algunos casos los conectores del sistema vienen invertidos es decir que el sócalo principal su numeración comenzará en uno desde la parte superior derecha. Es necesario tomar en cuenta esta consideración ya que al momento de conectar inadecuadamente la unidad de control de dirección tiende a sufrir daños o cortocircuitos internamente; el cual repercute en su funcionamiento.

Figura 47. Diagrama de conexión [16]



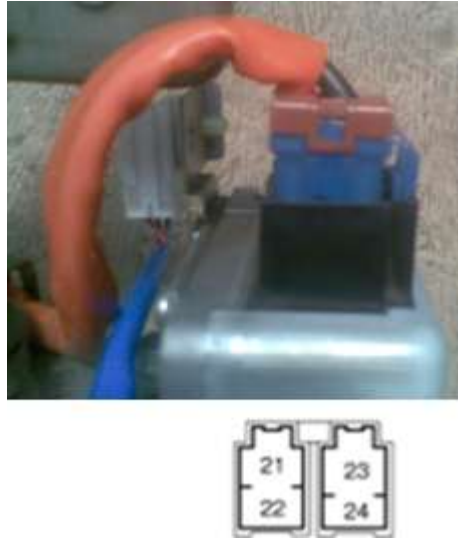
3.3.2 Motor eléctrico. Es el elemento que entrega la fuerza de asistencia, la misma que es transmitida a la columna de la dirección.

Figura 48. Motor eléctrico



La corriente y la tensión del motor, es controlado por la unidad de control de dirección, la corriente máxima a la cual funciona el motor es de 24 A y 12 V de DC, la velocidad máxima es de 200 rpm. En este tipo de sistema, al momento de desmontarlo se debe tener cuidado ya que se debe extraer con toda la unidad de control de dirección.

Figura 49. Conector del motor eléctrico



En la figura 49 tenemos el conector del motor eléctrico, la cual está en la unidad de control de dirección, los pines 23 y 24 controlan el motor mientras que el pin 21 es alimentación de la batería para todo el sistema, por último el pin 22 es masa de la batería.

Figura 50. Cables del motor eléctrico



El motor eléctrico tiene dos cables en su conector como en la figura 50 los cuales son:

- Cable negro: motor +.
- Cable rojo: motor –.

Las características principales de este motor son las siguientes:

- Potencia máxima: 405W/24A/12V
- Par en la columna: 65Nm
- Rango de temperatura: -40°C hasta 120°C
- Peso neto: 7kg
- Es un motor de corriente continua DC

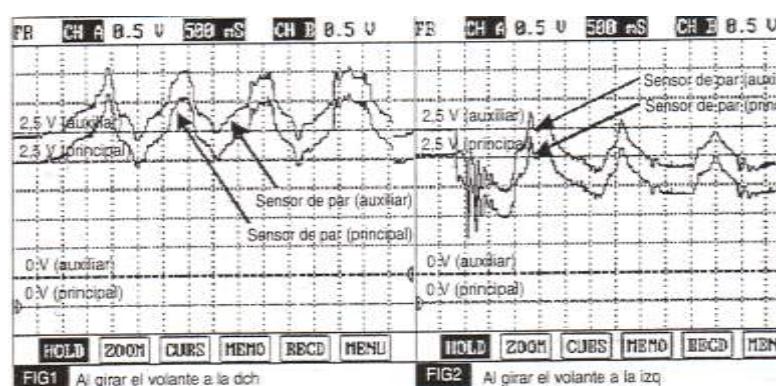
3.3.3 Sensor de par. Este sensor de par es tipo magnetorresistivo, por esta razón la estructura de la dirección es simple y menos costosa, a diferencia de las versiones el sensor de par era de tipo potenciómetro es decir una resistencia variable pero su función no cambia, en la figura 51 el sensor está instalado en el centro de la columna de dirección, es una unidad que está compuesta por un sensor principal y un sensor auxiliar. Al momento de girar el volante de la dirección, la barra de torsión se tuerce proporcionalmente a la carga del volante, lo cual hace que gire el eje acoplado.

Figura 51. Sensor de par



En el momento que se ha torcido el eje, se genera un cambio en el campo magnético en la bobina que rodea el eje en la bobina del sensor auxiliar que está dentro del sensor de par. El cambio producido en la corriente por este proceso se transmite a la unidad de control de dirección.

Figura 52. Señales del sensor de par [17]



En la figura 52 observamos el tipo de señal que genera el sensor de par tanto la señal auxiliar como la principal está en un rango de 0 a 2.5V; al momento que el volante se gira a la derecha las dos señales se incrementan a un máximo de 4V con respecto a los 2.5V; en cambio cuando el volante se gira a la izquierda el voltaje desciende a un máximo de 1V con respecto a los 2.5V de igual manera las dos señales son idénticas.

Este sensor es alimentado con 5V y su temperatura de operación está entre -40°C y 80°C en caso de que este sensor falle el sistema de dirección se apaga y la dirección entra en funcionamiento como una dirección mecánica.

Figura 53. Conector del sensor de par



Este sensor tiene cuatro cables en su conector los cuales son:

- Cable rojo: positivo.
- Cable negro: negativo (masa del sensor).
- Cable lila: señal principal.
- Cable azul: señal auxiliar.

El conector de este sensor se conecta directamente a la línea **CAN Bus** de ahí ingresa las señales hacia la unidad de control de dirección por el conector principal; la señal principal ingresa por el pin 4, la señal secundaria por el pin 14, voltaje de referencia para el sensor es suministrada por la unidad de control de dirección por el pin 3 y la masa del sensor lo hace en el pin 5.

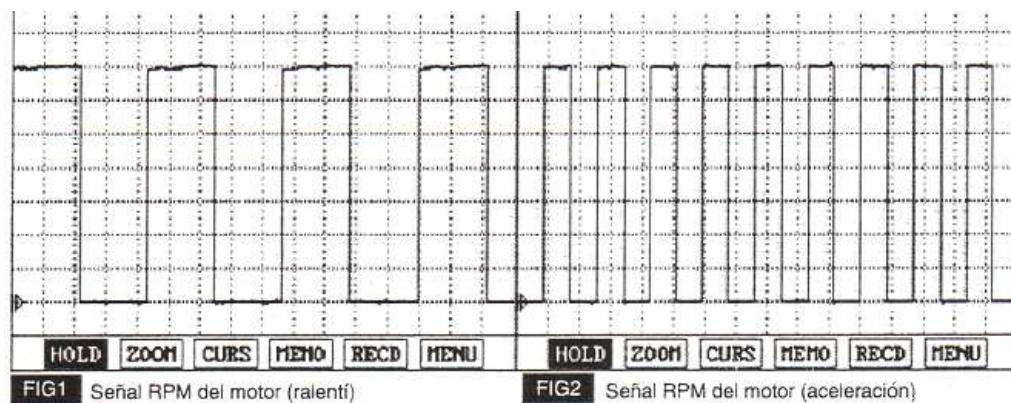
3.3.4 Sensor de regímenes del motor de combustión (CMP). Este sensor monitorea las revoluciones por minuto a las cuales está funcionando el motor de combustión interna e informa a la unidad de control de dirección. Como este sensor es parte del sistema de inyección, no se encuentra dentro del sistema de dirección asistida eléctricamente; la ECU (unidad de control electrónico) es quien suministra voltaje de

5V para su funcionamiento, debido a que está controlada por la ECU la señal ingresa a la línea CAN Bus, de aquí toma la señal el módulo de control de dirección.

De esta manera la unidad de control de dirección confirma que el conductor ha encendido el vehículo y empieza a comparar esta señal con las respectivas curvas características; al igual que todas las señales es muy importante, además es la primera señal que ingresa al momento de encender el vehículo.

En la figura 54 se puede ver el tipo de señal del sensor para este vehículo (Hyundai), a la derecha tenemos la señal en aceleración y a la izquierda en ralentí. El tipo de onda es una onda cuadrada con esto podemos decir que el sensor es de efecto Hall.

Figura 54. Señal del sensor CMP (Hyundai) [18]

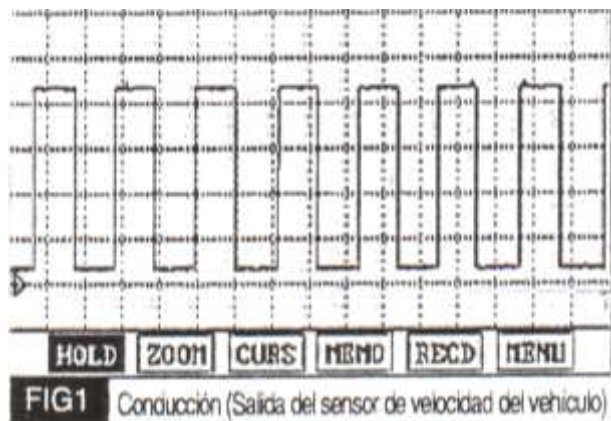


3.3.5 Sensor de velocidad del vehículo (VSS). Al igual que el anterior sensor (CMP), este sensor también forma parte del sistema de inyección, de igual manera la señal ingresa a la ECU (unidad de control electrónico) y luego es tomada y comparada con las curvas características por la unidad de control de dirección.

Está ubicado en el piñón arrastrado del velocímetro de la caja de cambios, es de un efecto Hall. El eje de salida de la transmisión gira, la rotación del rotor que es el sensor adentro, genera el efecto Hall y emite impulsos digitales. El objetivo de este sensor es informar la velocidad a la cual está circulando el vehículo para de esta manera la unidad de control de dirección controle la asistencia del motor eléctrico; y así, cuando el vehículo aumenta su velocidad disminuye la asistencia del motor eléctrico en cambio si la velocidad del vehículo disminuye la asistencia del motor eléctrico incrementa

En la figura 55 podemos ver el tipo de señal que es una onda cuadrada.

Figura 55. Señal del sensor VSS [19]



- La señal alta es de 8.0V a 12.5V y la señal en bajo es de 0.2V a 0.5V.
- De igual manera a medida que incrementa la velocidad del vehículo incrementará los Hz.

3.3.6 Testigo luminoso de averías. Se encuentra en el tablero del vehículo, es importante dentro del sistema ya que informa acerca de las averías que sucede, al poner en contacto el vehículo, el testigo de averías se encenderá por que la unidad de control de dirección está comparando las señales de entrada luego al arrancar el vehículo el testigo de averías se apagará. Como ya se indicó en el capítulo anterior el testigo de averías adopta dos formas de colores naranja y rojo dependiendo de cada situación.

3.4 Ventajas y desventajas del sistema de dirección asistida eléctrica

Este sistema de dirección tiene las siguientes ventajas a diferencia de los otros sistemas de dirección como son la dirección mecánica e hidráulica. Las ventajas son las siguientes:

- Con respecto a la dirección hidráulica en este sistema de dirección se eliminan los componentes hidráulicos, como la bomba de aceite, cañerías y el filtro de aceite del aceite hidráulico. Además se elimina el líquido hidráulico.
- Ocupa menor espacio ya que los componentes van instalados directamente en la columna de la dirección.
- Menor ruido al momento de su funcionamiento.
- No representa ninguna carga para el motor.

- Debido a que no representa una carga para el motor el consumo de gasolina se reduce al momento de maniobrar la dirección, con lo cual se ahorra 0.2litros por cada 100km recorridos.
- Es una dirección mecánica simple con asistencia eléctrica.

Mientras que sus desventajas son:

- Solo puede ser instalado en vehículos livianos, ya que la fuerza de asistencia está limitada por el motor eléctrico, de modo que si tenemos una dirección con un motor eléctrico de mayor consumo de corriente el sistema de carga se verá afectado ya que la capacidad de carga está limitada.
- Los componentes de este sistema son muy sensibles a golpes y caídas por lo cual si un elemento tiene alguna avería no puede ser remplazado, de modo que se debe sustituir todo el sistema de dirección.
- Este tipo de automóviles solo se los puede conducir en la ciudad, en caso de que deba ser conducido en caminos más severos deberán tomarse las precauciones debidas.
- No se puede dar una garantía exacta de este sistema.

3.5 Comprobación y verificación de los problemas del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS

El sistema de dirección asistida eléctricamente es un sistema el cual tiene un avance muy importante en lo que se refiere con la seguridad activa del vehículo, aparte de disminuir el esfuerzo ejercido sobre el volante por el conductor para una mayor maniobrabilidad, el sistema activa el **modo de fallo** en el momento que suceda cualquier anomalía en el sistema de dirección. Todo esto lo realiza la unidad de control electrónica. Los problemas que se presentan dentro de este sistema se los puede localizar y solucionar de dos formas:

- Con un SCANNER de la propia marca para fallas intangibles (códigos de averías).
- Analizando el sistema EPS de acuerdo a las fallas tangibles que se presenten.

3.5.1 *Con un SCANNER de la propia marca para fallas intangibles (códigos de averías).* Los problemas más comunes dentro del sistema se los puede localizar más rápido con un SCANNER de la propia marca, el acceso a los códigos de averías se lo realiza mediante la línea canbuss. Cuando falla el sistema los códigos de fallas que puede aparecer en el SCANNER son los siguientes códigos.

Tabla 1. Códigos de falla del sistema EPS

DTC		Fallo estándar	Causa	Solución
Sensor de par	C1290	Fallo de señal principal.	Voltaje de salida > 4.6V o < 0.4V	Comprobar las señales con un osciloscopio.
	C1291	Fallo de señal auxiliar.	Voltaje de salida > 4.6V o < 0.4V	Comprobar que el sensor no esté deteriorado o dañado. Rangos de funcionamiento (>9,4mA - < 0,6mA)
	C1292	Fallo de diferencia de señal de sensor de par entre principal y auxiliar.	Valor absoluto entre el sensor principal y auxiliar > 0,527V	Sensor mal conectado, deteriorado o dañado. Señales de funcionamiento (>0,75mA – 0,5mA)
	C1112	Fallo de voltaje de suministro.	Voltaje de alimentación ≤ 5,7V	Sensor mal conectado, deteriorado o dañado. Sustituir unidad de control

Velocidad del vehículo	C1212	Fallo de señal del sensor de velocidad del vehículo	Circuito abierto o cortocircuito en el de alimentación. Circuito abierto a masa	Sensor defectuoso. Sustituir unidad de control.
Velocidad del motor	C1272	Fallo de señal del sensor de velocidad del motor	Velocidad del motor a 400rpm o velocidad del motor superior a 800rpm ingresando una señal muy baja.	Resistencia de contacto en las conexiones. Circuito defectuoso relacionado con la PCM PCM averiada Sustituir
Motor	C2412	Fallo de voltaje de terminal del motor	Voltaje en uno de sus bornes es > 8,5V o <0,2V durante 0,5 segundos	Voltaje correcto de funcionamiento 1V. EPS CM averiada.
	C2413 C2414 C2415	Fallo de corriente de motor (en caso de que se esté en el modo de exceso de corriente) Fallo de corriente de motor	Corriente de consumo > a 50 A.	Compruebe que el motor no esté golpeado, dañado, cables defectuosos o daños mecánicos, químicos. Medir la resistencia entre los terminales del motor. Sustituya en motor EPS.

Voltaje	C1101	Fallo de voltaje de la batería	Voltaje del sistema >17,5V o < 9V por 5segundos.	Voltaje incorrecto de la Batería. Cables defectuosos o corroídos.
	C1102			Bornes en mal estado.
Unidad de control	C1704	Relé de seguridad ante fallo atascado	Voltaje = 5,5V por 5 segundos Tensión de la batería activada toso el tiempo	EPS presenta daños o está atascada. Sustituya el EPS.
	C1604	Fallo de voltaje de salida de suministro; Fallo de ASIC	Desperfecto del EPS	Unidad de control sustituir

Con el escáner de la propia marca; además de poder localizar los códigos de falla o DTC, se puede también observar o visualizar las señales o gráficas de los sensores con el cual funciona este sistema EPS; de esta manera podemos dar solución a los problemas antes mencionados; ya que no todos los problemas que ocurre dentro del sistema son a causa del fallo de sus elementos, en algunos caso el problema puede ocurrir debido a que alguna señal está ingresando en una forma anormal o fuera de su rango de funcionamiento.

En nuestro tablero didáctico solo se podrá observar las señales del sensor VSS Y CMP ya que estas señales son las que no forman parte del sistema de dirección EPS, en caso de que se requiera observar la señal auxiliar de par y señal principal de par se lo podrá visualizar a través de un osciloscopio físico.

3.5.2 *Análisis del sistema. EPS de acuerdo a las fallas tangibles que se presenten.* La problemática en el sistema EPS se presenta entre los 50.000 y 80.000 kilómetros de uso del vehículo en carretera.

Muchos de los usuarios, entre ellos la mayoría conductores de taxis, expresan su intranquilidad al ver que a determinado kilometraje la dirección de tipo electrónica sufre algunos inconvenientes, como por ejemplo “al carro se le endurece la dirección y hay que apagarlo y nuevamente prenderlo para que funcione bien”, y sienten que está en peligro su integridad.

Pero lo importante y lo que cabe recalcar es que la marca Hyundai ya dispone de un procedimiento para solucionar el problema, que consiste en el cambio de toda la columna de dirección del sistema incluyendo el módulo de control.

De acuerdo a un boletín de la marca para los concesionarios; se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos para revisar el sistema de dirección electrónico del vehículo.

Este boletín proporciona los números de serie de recambio nuevos de las piezas de la columna de dirección y de la unidad de control de dirección y el código de reparación incluyendo el procedimiento de reparación.

3.5.2.1 *Síntomas de los problemas surgidos en el sistema EPS.* Los síntomas de falla del vehículo son los siguientes:

- Endurecimiento del volante y advertencia testigo EPS.
- Ruido o traqueteo al girar el volante.
- Asistencia únicamente a un lado de giro.

Endurecimiento del volante y advertencia testigo EPS. El endurecimiento del volante es quizá el síntoma más molesto y común el cual genera más preocupación en el conductor y quejas, consecuentemente una preocupación para el fabricante.

Una vez que la unidad de control de dirección detecta el código de falla, el relé de seguridad se desconecta y el motor eléctrico de la dirección deja de asistir, razón por la cual la dirección se comporta como una dirección mecánica sin asistencia, y se endurece de tal manera que se dificulta la maniobrabilidad a la cual está acostumbrada el conductor del vehículo más aun en el momento de parquear. La razón por lo cual el sistema de dirección deja de funcionar y se convierte en un sistema netamente

mecánico está contemplado por el fabricante y esto ocurre por seguridad de los ocupantes y nunca quede el vehículo inestable.

Una vez que se presenta esta falla, se puede apagar el vehículo y luego encenderlo, para que el sistema se restablezca y funcione normalmente, puede que la falla vuelva a aparecer posteriormente una vez que el sistema detecta el código de falla del sensor EPS por primera vez.

Ruido o traqueteo al girar el volante. Otro de los problemas o síntomas que se presentan en el vehículo una vez que la unidad de control de dirección ha detectado el código de avería del sensor EPS, es un sonido o traqueteo al momento de girar el volante, este sonido se asemeja al roce de un elemento interno de la dirección.

La causa de este sonido se debe a la leve intención del motor eléctrico de generar asistencia hacia un sentido, mientras el conductor está intentando virar hacia el otro, esto hace que exista una especie de roce entre el piñón de asistencia y tornillo sinfín de la columna.

Asistencia únicamente a un lado de giro. A veces cuando ocurre este problema es posible que la asistencia de giro se realice únicamente en un sentido de giro, y en el otro sentido haya poca o ninguna asistencia y la dirección se mantenga dura.

Puede ocurrir también que mientras se conduzca se tenga la impresión de que la dirección este desalineada, y tengamos la sensación de que esta “halando la dirección en un sentido” como comúnmente se dice.

Diagnóstico del sistema de dirección EPS. Es importante tener presente que en un sistema electrónico pueden aparecer fallas visibles al igual que fallas invisibles, como puntos de soldadura en el circuito defectuosos o sobrecargas en el circuito que puedan haber quemado pistas o líneas de corriente, incluso la humedad puede causar problemas eléctricos en el motor de asistencia o en el sensor de par, por lo cual es importantísimo tener la herramienta adecuada para la determinación de la falla. Además se recomienda tener las siguientes precauciones al momento de realizar el diagnóstico.

- No golpear las partes electrónicas, si se caen o se golpean, sustituirlas por otras nuevas.
- Evitar el calor y la humedad de las partes electrónicas.

- No tocar el terminal de conexión para evitar deformaciones y electricidad estática.
- No golpear las partes del motor y el sensor de par, si se caen o golpean, sustituirlas por otras nuevas.

Cuando en el vehículo se escucha un ruido anómalo cerca del volante y el EPS funciona incorrectamente, primero se debe comprobar las otras posibles causas.

Si no se detecta ningún DTC relacionado con el sistema EPS, se debe reparar en primer lugar el sistema relacionado con el DTC o los de fallo.

En la tabla 2 se resume los problemas que se presenta en el sistema EPS con las causas posibles y soluciones.

Tabla 2. Resumen de los síntomas, causas y soluciones del sistema EPS en base a fallas tangibles

SÍNTOMA/CONDICIÓN	CAUSAS POSIBLES	SOLUCIÓN
<p>Ruido de roce</p> <p>Cuando se gira el volante con el vehículo a poca velocidad, se produce un ruido de roce procedente de la columna de dirección y de la unidad ECU o una deferencia de esfuerzo entre el giro a la derecha y el giro a la izquierda.</p>	<p>Desgaste anormal del cepillo dentro del sensor de par de tipo contacto</p>	<p>Sustituya la columna de dirección y la unidad ECU según el Procedimiento de mantenimiento en este TSB</p>
<p>Ruido de fricción</p> <p>Ruido de fricción o interferencia con otras piezas</p>	<p>Casquillos de goma de las fijaciones inferiores desgastados o rotos.</p> <p>Interferencia entre el volante de dirección y las piezas cercanas al ESP (interruptor</p>	<p>En este caso, no es necesario sustituir el EPS.</p>

	<p>multifunción, control de oscilación del volante, cubierta de refuerzo, módulo del airbag, etc.</p> <p>Interferencia entre la cubierta de polvo de la junta universal y el componente del chasis etc.</p>	
Ruido de traqueteo	<p>Cuando se produzca un traqueteo, primero inspeccione las piezas cercanas al EPS.</p> <p>Instalación de los pernos de montaje de los componentes inferiores de la carrocería, como la caja de engranaje o el amortiguador.</p> <p>Instalación de los pernos de montaje de las piezas cercanas.</p>	Tras verificar la causa, repare el problema según lo indicado en el manual del taller
	<p>Ruido de traqueteo desde el EPS.</p> <p>Ruido producido por la holgura anómala entre el engranaje helicoidal y el eje de transmisión helicoidal.</p> <p>Ruido producido por la holgura entre acoplador del amortiguador y la estría del motor</p>	Sustituya la columna de dirección y la unidad ECU según el Procedimiento de mantenimiento en este TSB.
Sonido de funcionamiento del motor EPS	El sonido de funcionamiento del motor EPS es normal al girar el volante.	En este caso, no es necesario sustituir el EPS

Gran esfuerzo en la dirección	<p>Al girar en exceso el volante, la temperatura del motor EPS puede aumentar debido al funcionamiento excesivo del motor EPS.</p> <p>En este momento, se detecta el DTC 1630 y el motor EPS se ve limitado para impedir que se dañe. (Esto significa que la dirección necesita un gran esfuerzo.)</p>	<p>En este caso, no sustituya ninguna pieza. Simplemente borre el DTC 1630 y espere entre 30- 40 minutos hasta que la temperatura del motor EPS disminuya hasta que sea normal.</p>
	<p>En caso de darse otros problemas, inspeccione primero el sistema eléctrico.</p>	<p>Tras verificar la causa, repare el problema</p>
	<p>Cortocircuitos, circuitos abiertos y la instalación de los conectores vinculados al motor, al sensor del par y al suministro de potencia. Bajo voltaje de batería</p>	

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA ELÉCTRICAMENTE (EPS)

4.1 Construcción

La construcción del tablero del sistema de dirección asistida eléctricamente EPS implica crear un tablero didáctico y funcional para el sistema de dirección asistida eléctricamente, este tablero debe de cumplir con la función de ser accesible para realizar las prácticas respectivas en cuanto se refiere a este tipo de sistemas.

4.1.2 Diseño del tablero. Para la ubicación de los diferentes elementos de nuestro sistema de dirección asistida eléctrica debemos diseñar una estructura en el cual deben ir ubicados cada uno de ellos. La maqueta debe ser accesible para los estudiantes para su manipulación e identificación de cada una de sus partes constituyentes; también debe permitir realizar diferentes pruebas para verificar su funcionamiento. Debe también ofrecer la seguridad necesaria a las personas que vayan a manipular.

4.1.3 Diseño de la estructura. Para el diseño de la estructura debemos tener en cuenta el peso y la longitud de cada uno de las partes que conforman el sistema de dirección EPS los cuales son: la columna de dirección y el respectivo sistema (por ser un sistema column drive el sistema está en la columna de dirección) y el mecanismo de la de cremallera.

Para saber el peso de cada uno de estos elementos nos ayudamos de un dinamómetro como se puede ver en la figura 56 la cual está comprendida de una escala de peso de 0 Lb a 25 Lbs.

Cada uno de los respectivos pesos medidos deberán ser transformados a una fuerza para lo cual multiplicamos por $9,8 \text{ m/s}^2$, de esta manera tenemos la fuerza de cada elemento que actuará sobre el tablero didáctico.

Para dar dimensiones a nuestro tablero didáctico debemos medir la longitud de cada uno de los elementos que serán montados sobre el mismo.

Figura 56. Dinamómetro



En la tabla 3 se detalla cada uno de los elementos los cuales serán montados sobre el tablero didáctico con su peso y medida respectiva.

Tabla 3. Peso, fuerzas, y longitudes de cada uno de los elementos del sistema de dirección

Elementos	Peso (Kg)	Fuerza (N)	Longitud (m)
Columna de dirección y su sistema.	9.1	89.18	0.52
Sistema de cremallera mecánica.	5.5	53.9	1.10

La estructura del tablero deberá soportar las fuerzas ejercidas por los resortes, los cuales van a simular la fuerza de resistencia de los neumáticos. Esta fuerza es de 166 kg (1626.8 N) a cada lado.

En la figura 57 observamos la estructura diseñada en **SolidWorks**, la cual está diseñada con un tubo estructural cuadrado.

Las medidas con las que se diseñó la estructura están basadas en la altura de una persona normal, es decir que sus manos manipulen de una forma fácil el volante de la dirección bajo cualquier condición de funcionamiento del mismo, sin la necesidad de realizar un mayor esfuerzo para maniobrar, además de esto la estructura contará con unas ruedas adecuadas para su movilidad dentro del laboratorio o taller.

Figura 57. Diseño de la estructura

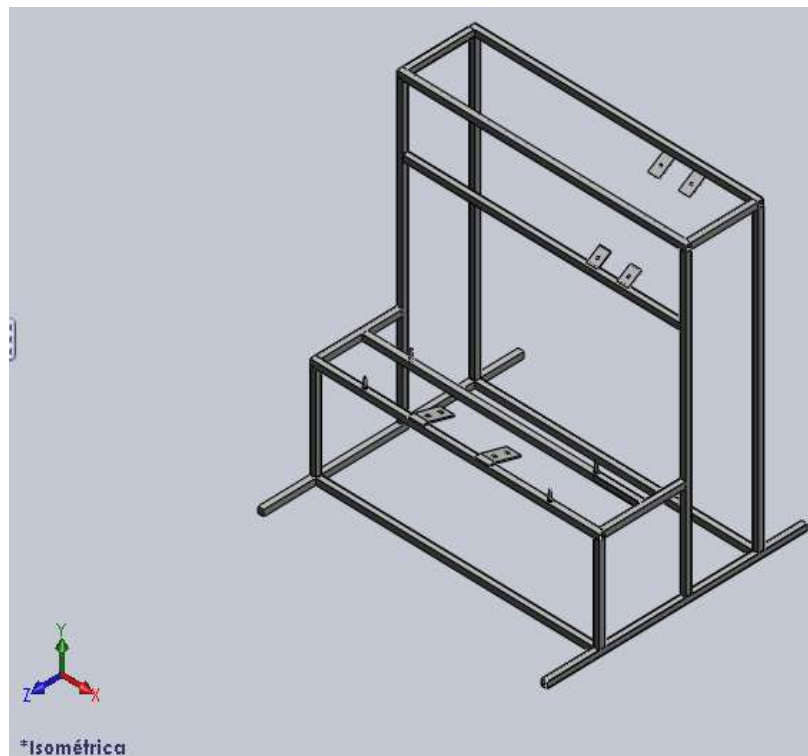


Figura 58. Vista lateral derecha

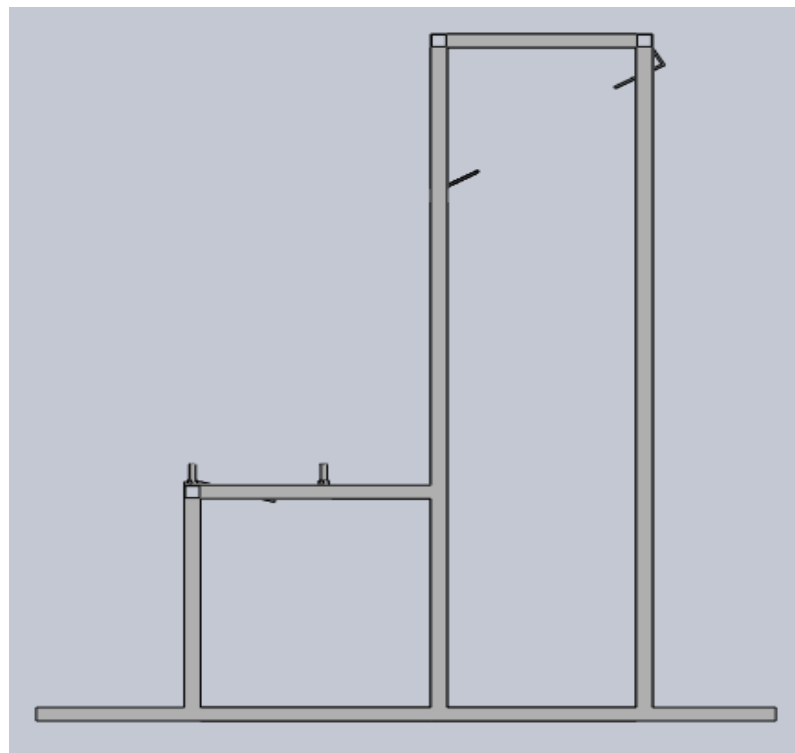


Figura 59. Vista frontal

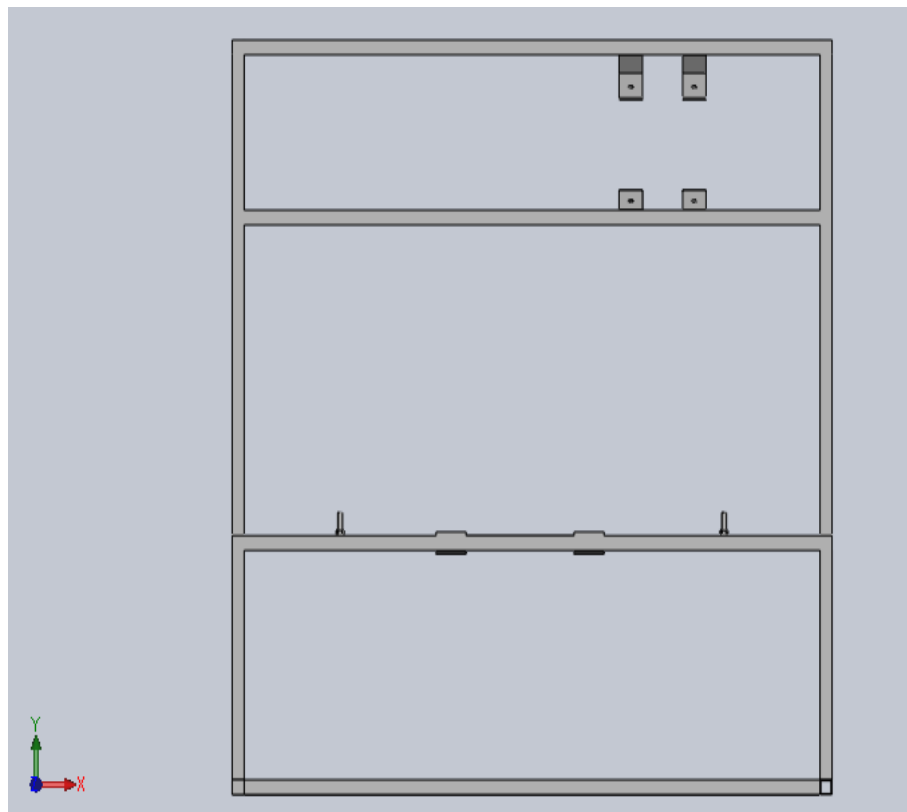
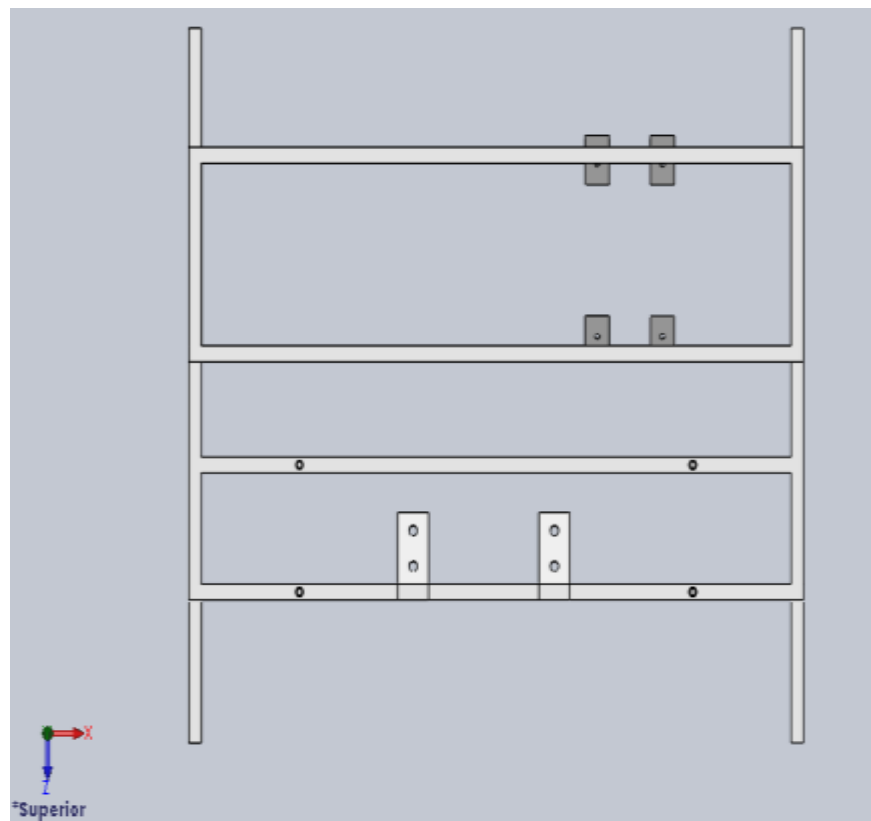


Figura 60. Vista superior

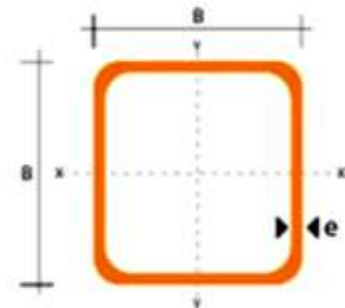


4.1.4 Selección del material y Cálculo de la estructura. Luego de tener diseñado nuestra estructura en **SolidWorks** debemos seleccionar el tipo de material que se debe emplear para la construcción del mismo, para lo cual debemos calcular los momentos flectores máximos y los esfuerzos cortantes; para esto nos valemos del programa **Analysis** en el cual dibujaremos nuestra estructura con las respectivas cargas. La estructura se lo realizará como inicialmente lo planteamos en un tubo estructural cuadrado ASTM 32 de dimensiones 25*25*1mm cuyas especificaciones se detallan en la tabla 4

Tabla 4. Especificaciones de un tubo estructural cuadrado

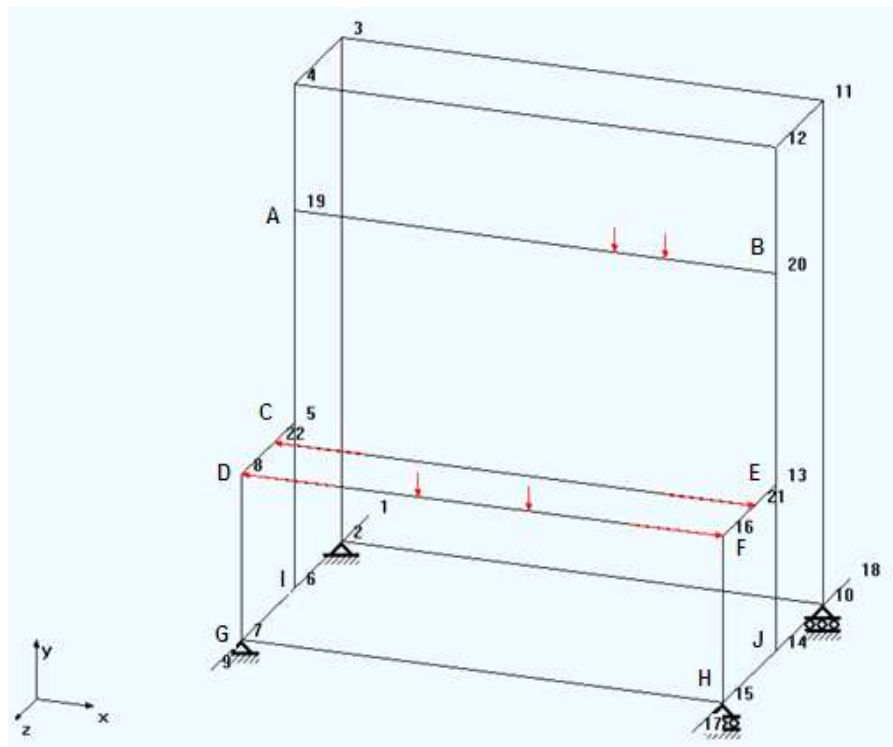
B (mm)	Espesor (mm)	Area (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	I (cm)
25	1.2	1.14	1.08	0.87	0.97

Figura 61. Medidas de un tubo cuadrado [20]



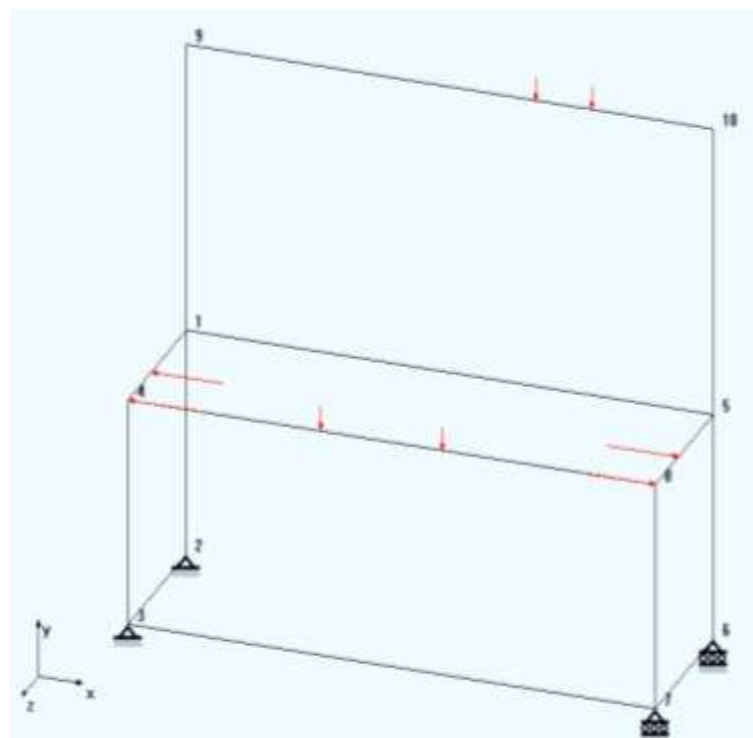
En el programa podemos seleccionar el tipo de material, las dimensiones de la estructura y agregar las diferentes cargas las cuales van a soportar. La estructura será dibujada en 3D y será analizada como una estructura soldada. Para armar la estructura debemos dibujar primero los nodos de unión, cada uno de los nodos con sus respectivas coordenadas en los planos X, Y, Z. Los miembros de la estructura serán de un tubo estructural cuadrado de de las medidas expuestas anteriormente de acero FE310. Cada uno de los miembros de la estructura se formará al unir los diferentes nodos. El tipo de apoyo para la estructura es independiente de las ruedas que van en la estructura; el tipo de apoyo será el tercer tipo que es FIXED HINGE para los nodos 2 y 7; y el cuarto tipo que es HORIZONTAL HINGE ROLLER para los nodos 10 y 15. Las diferentes cargas que va soportar la estructura serán cargas puntuales. Luego de esto tenemos dibujado la estructura con su respectivo perfil y las cargas a soportar.

Figura 62. Estructura final dibujada



Para simplificar la estructura y su análisis solamente tomaremos en cuenta los siguientes nodos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J; debido a que en estos nodos se concentra las cargas. En la figura 63 tenemos dibujado nuestra estructura simplificada.

Figura 63. Estructura simplificada



Luego de calcular obtenemos los siguientes resultados que son:

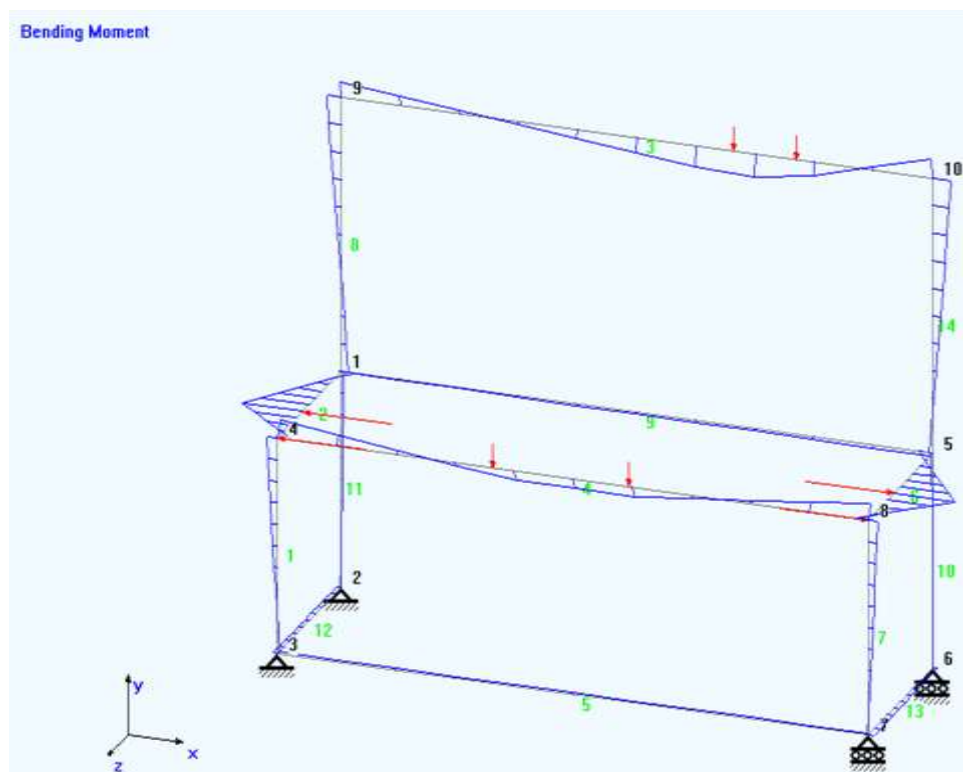
Reacciones en los nodos de apoyos.

Figura 64. Reacciones en los apoyos

Joint	Forces [kg]			Moments [kgm]		
	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
2	-0.456	2.374	-0.043	0.000	0.000	0.000
3	0.456	3.062	-0.094	0.000	0.000	0.000
6	0.000	6.726	0.043	0.000	0.000	0.000
7	0.000	2.438	0.094	0.000	0.000	0.000

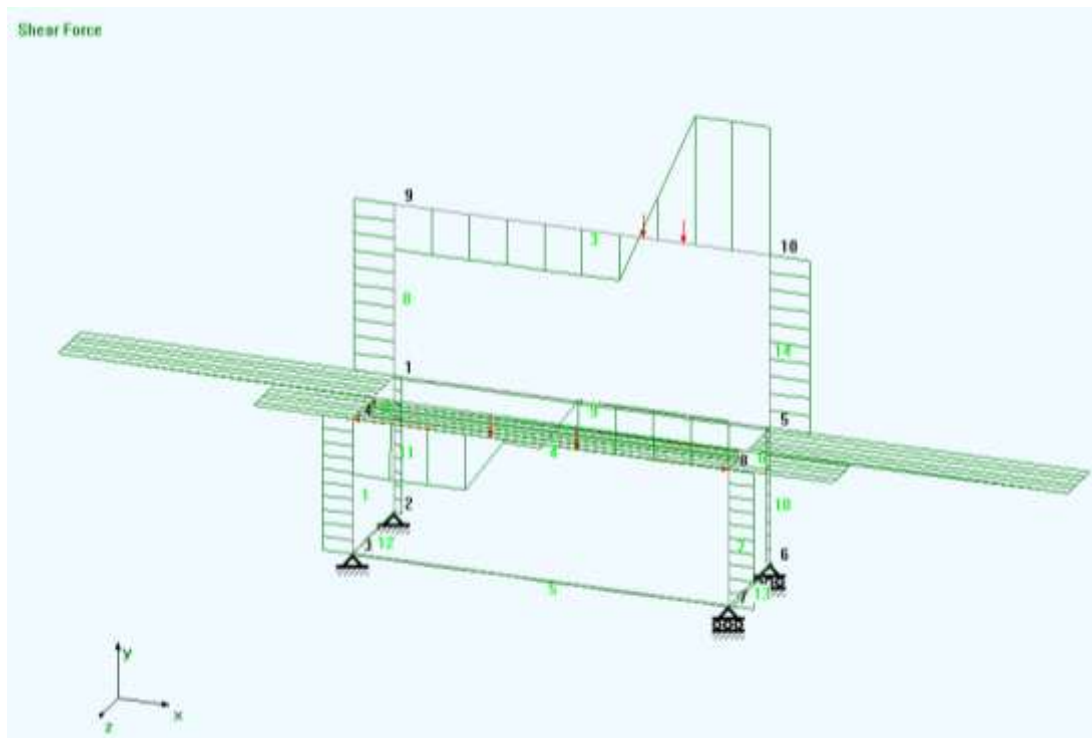
Momento flector.

Figura 65. Diagrama del momento flector



Esfuerzo cortante

Figura 66. Diagrama del esfuerzo cortante



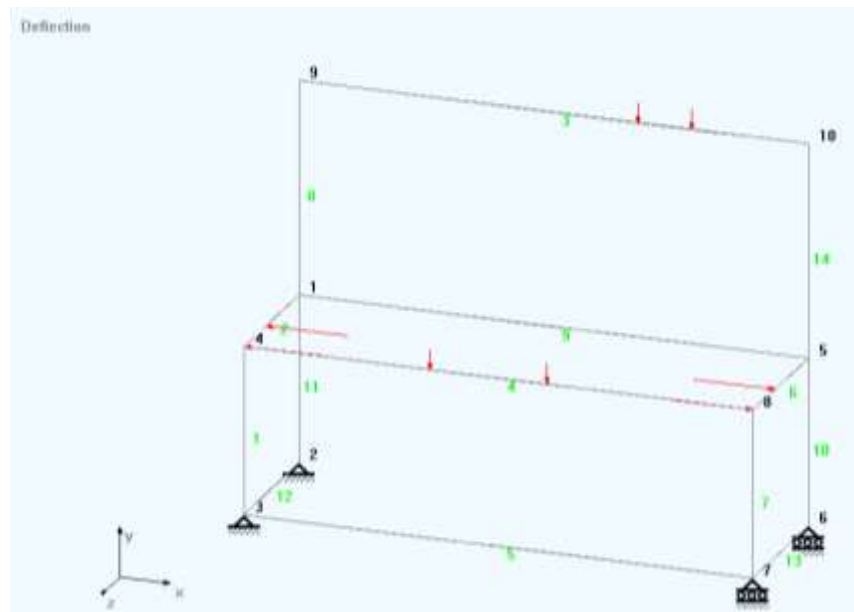
Fuerzas axiales

Figura 67. Diagrama de las fuerzas axiales



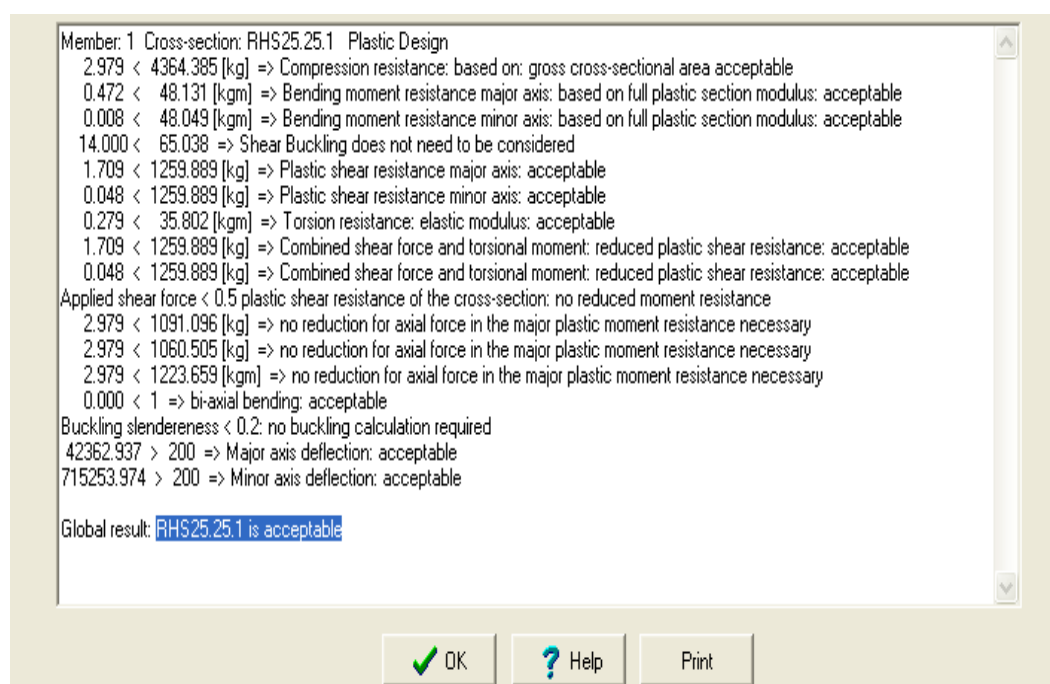
Deflexión la cual no es notorio por tener cargas pequeñas.

Figura 68. Diagrama de deflexión



Finalmente observamos los resultados los cuales son satisfactorios debido a que el tubo estructural cuadrado es aceptable (parte inferior subrayada de color azul de la figura 69) para soportar las cargas.

Figura 69. Detalles de los resultados



4.1.5 *Simulación de la fuerza de resistencia al viraje de las ruedas.* La simulación de la fuerza de resistencia al viraje consiste crear una fuerza que se opone al movimiento de las ruedas directrices, es decir la cremallera por medio de sus terminales empuja a las ruedas delanteras, estas a su vez por el peso propio del vehículo se oponen al movimiento, entonces para lo cual debemos considerar una fuerza similar a esta, en nuestro caso debemos simular esta fuerza de resistencia. De acuerdo a las condiciones de nuestro tablero y por el espacio que tenemos a disposición, la simulación de esta fuerza de resistencia se lo simulará con resortes mecánicos de flexión.

La fuerza de resistencia es de 166 Kg (1626.8 N), esta fuerza se determinó por medio de dinamómetros los cuales se midieron esta resistencia.

El dinamómetro se suspendió a una distancia de 0.28cm igual a la palanca de ataque de la mangueta para que los momentos torsores en el centro de las ruedas no se alteren.

De esta manera se aplico una fuerza al dinamómetro hasta vencer la fuerza de resistencia; cabe mencionar que esta prueba se lo realiza con el vehículo **TOYOTA COROLLA** con el motor encendido debido a que todo sistema de dirección entra en funcionamiento cuando el vehículo se enciende. Además este vehículo posee el mismo sistema de dirección (EPS).

4.1.5.1 *Calculo del módulo de rigidez de un resorte modelo.* Para el diseño de nuestro resorte debemos tener en cuenta el tipo de material que disponemos en el mercado; con el tipo de material sabemos su módulo de rigidez el cual es muy importante en el momento del diseño.

En el mercado ecuatoriano solo tenemos dos tipos de materiales para resortes que son:

- **Alambre nacional para resortes:** que viene en diámetros de 3 a 8 mm.
- **Alambre alemán para resortes:** que vienen en diámetros de 0.5 a 3 mm.

Debido a esto debemos escoger el alambre nacional. Para este tipo de material debemos calcular el módulo de rigidez mediante ensayos, seleccionamos un resorte fabricado con este material y medimos las cargas o fuerzas que vamos a mandar al resorte.

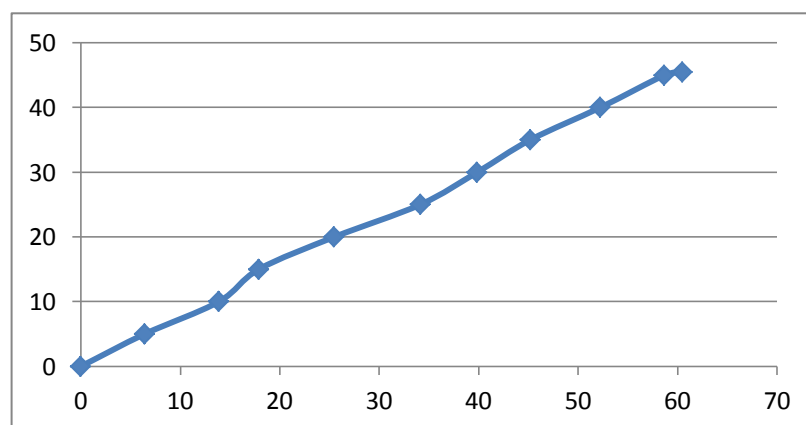
En la tabla 5 se encuentra las diferentes deformaciones de acuerdo a las cargas que se han suspendido al resorte.

Tabla 5. Datos de ensayos aplicados al resorte

Nº de ensayos	Carga aplicada (Kg)	Fuerza aplicada (N)	Deformación (mm)
1	10	98	13.88
2	15	147	17.90
3	20	196	25.50
4	25	245	34.14
5	30	294	39.86
6	35	343	45.20
7	40	392	52.24
8	45	441	58.70
9	45.5	450	60.50

Con los valores de la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica la cual está, la carga aplicada (Eje Y) en función de la deformación (Eje X). En donde la pendiente es K (constante del resorte), debido a que la pendiente de la grafica no es exacta debemos linealizar para aproximarnos a un valor cercano de K.

Figura 70. Grafica de los ensayos realizados

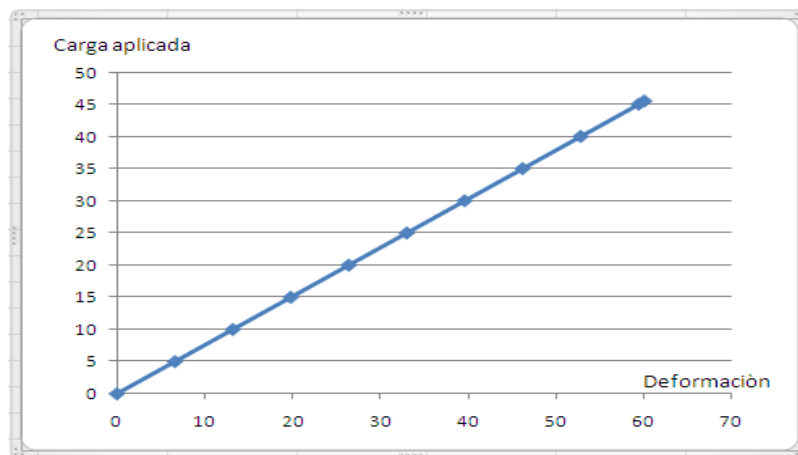


Al linealizar en Excel la gráfica anterior obtenemos el valor de **$k = 0.757695627$ kg/mm**. Con lo cual nuestra ecuación quedará expresada de la siguiente manera **$F = 0.75 \cdot X$** de la cual obtenemos una nueva tabla de valores la cual nos da una gráfica con una pendiente linealizada.

Tabla 6. Valores obtenidos mediante la linealización

Y	X
0	0
5	6.5997
10	13.1995
15	19.7993
20	26.3991
25	32.9984
30	39.5987
35	46.1985
40	52.7983
45	59.3980
45.5	60.0580

Figura 71. Gráfica linealizada



Para calcular el módulo de rigidez del resorte modelo tenemos los siguientes datos.

Datos:

- $\varnothing D = 16.62 \text{ mm}$.
- $\varnothing d = 3.14 \text{ mm}$.
- $F = 45.5 \text{ kg}$.
- $K = 0.75 \text{ Kg/mm}$
- $N = 27$.

Donde:

- $\varnothing d$ = diámetro del alambre del resorte.
- $\varnothing D$ = diámetro del cuerpo del resorte.

- F= fuerza que actúa sobre el resorte.
- K= constante del resorte.
- N= espiras activas del resorte.

Aplicando el teorema de CASTIGLIANO.

$$K = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N} \quad (1)$$

Donde:

- K= constante del resorte.
- d= diámetro del alambre.
- D= diámetro del cuerpo del resorte.
- N= número de espiras activas del resorte.
- G= módulo de rigidez del resorte.

Despejamos G el cual queremos encontrara.

$$G = \frac{k * (8 * D^3 * N)}{d^4}$$

$$G = \frac{0.75 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} * [8 * (16.62\text{mm})^3 * 27]}{(3.14\text{mm})^4}$$

$$G = 7732.1002\text{kg/mm}^2$$

Este es el **módulo de rigidez** para este tipo de material como es el acero nacional para resortes.

4.1.5.2 *Diseño del resorte para el tablero didáctico.* Para diseño de resortes se debe de tomar en cuenta o considerar los siguientes aspectos de diseño.

- El espacio en el que debe adaptarse y operar.
- Valor de las fuerzas y las deflexiones que se producirán.
- Presión y confiabilidad necesarias.
- Tolerancias y variaciones permisibles de las especificaciones.
- Condiciones ambientales.
- Costo y cantidades que se necesitan.

Otro de los aspectos importantes a considerar para el diseño son:

- Mayor diámetro del cuerpo del resorte menor fuerza de resistencia a la flexión.
- Menor diámetro del cuerpo del resorte mayor fuerza de resistencia a la flexión.
- Mayor diámetro del alambre mayor fuerza de resistencia a la flexión.
- Menor diámetro del alambre menor fuerza de resistencia a la flexión.
- Mayor número de espiras menor deformación del cuerpo del resorte.
- Menor número de espiras mayor deformación del cuerpo del resorte.

Debido a todos estos aspectos y tomando algunas consideraciones procedemos a dimensionar un resorte que satisfaga nuestras necesidades. Para el diseño del resorte el cual va ir montado en el tablero didáctico tenemos los siguientes datos:

- $\varnothing d = 4$.
- $G = 7732.1002 \text{ kg/mm}^2$.
- $F = 83 \text{ Kg}$.
- $\delta = 75 \text{ mm}$ (deformación).
- $D = 20 \text{ mm}$.

La fuerza dividimos para dos ya que va ir montado dos resortes.

Cálculo de la nueva constante K del resorte

$$K = \frac{F}{\delta} \quad (2)$$

$$K = \frac{83 \text{ kg}}{75 \text{ mm}}$$

$$K = 1.106 \text{ Kg/mm}$$

Cálculo del número de espiras del resorte aplicando la ecuación (1)

$$K = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N}$$

Despejando el número de espiras.

$$N = \frac{d^4 * G}{8 * K * D^3}$$

$$N = \frac{(4\text{mm})^4 * (7732.1002\text{kg/mm}^2)}{8 * \left(1.106 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}\right) * (20 \text{ mm})^3}$$

$$N = \frac{1979417.161 \text{ Kg} * \text{mm}^2}{70784\text{Kg/mm}^2}$$

$$N = 27.96$$

$$N = 28 \text{ espiras}$$

Longitud del cuerpo del resorte

$$L_b = N * d \quad (3)$$

$$L_b = 28 * 4\text{mm}$$

$$L_b = 112 \text{ mm}$$

Comprobación del factor de seguridad del cuerpo del resorte. Procedemos con lo siguiente.

Cálculo de los esfuerzos máximos y mínimos del resorte

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} \quad F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \quad (4)$$

Donde $F_{\max} = 83 \text{ kg}$ y $F_{\min} = 0$; porque nuestro resorte inicialmente no tiene carga inicial y la carga máxima se aplica al girar el volante.

$$F_a = \frac{83\text{kg} - 0\text{kg}}{2} \quad F_m = \frac{83\text{kg} + 0\text{kg}}{2}$$

$$F_a = 41.5 \text{ kg}$$

$$F_m = 41.5 \text{ kg}$$

Cálculo de la constante C del resorte

$$C = \frac{D}{d} \quad (5)$$

$$C = \frac{20\text{mm}}{4\text{mm}}$$

$$C = 5$$

Factor de superposición (ks)

$$k_s = 1 + \frac{0.5}{C} \quad (6)$$

$$k_s = 1 + \frac{0.5}{5}$$

$$k_s = 1.1$$

Cálculo del factor de corrección de Wahl (kw)

$$k_w = \frac{4C - 1}{4C - 4} + \frac{0.615}{C} \quad (7)$$

$$k_w = \frac{(4 * 5) - 1}{(4 * 5) - 4} + \frac{0.615}{5}$$

$$k_w = 1.3$$

Cálculo de factor de concentración de esfuerzos por curvatura (kf)

$$k_f = \frac{k_w}{k_s} \quad (8)$$

$$k_f = \frac{1.3}{1.1}$$

$$k_f = 1.182$$

Cálculo del esfuerzo máximo (τ_a) y mínimo (τ_m) del resorte

$$\tau_a = \frac{k_s * 8 * F_a * D}{\pi * d^3} \quad \tau_m = \frac{k_s * 8 * F_m * D}{\pi * d^3} \quad (9)$$

Donde:

$$\tau_a = \frac{1.1 * 8 * 41.5 \text{ kg} * 20 \text{ mm}}{\pi * (4 \text{ mm})^3} \quad \tau_m = \frac{1.1 * 8 * 41.5 \text{ kg} * 20 \text{ mm}}{\pi * (4 \text{ mm})^3}$$

$$\tau_a = 36.33 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_m = 36.33 \text{ kg/mm}^2$$

Cálculo de resistencia a la tensión del cuerpo del resorte (Sut)

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (10)$$

Donde: A= 1880 Mpa y m=0.186 por tablas, para un alambre enfriado en aceite.

$$S_{ut} = \frac{1880 \text{ Mpa}}{(4\text{mm})^{0.186}}$$

$$S_{ut} = 1566.6 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 163.2 \text{ Kg/mm}^2$$

Cálculo de la resistencia de fluencia de torsión (Ssy)

$$S_{sy} = 0.577 * S_{ut} \quad (11)$$

$$S_{sy} = 0.577 * 163.2 \text{ kg/mm}^2$$

$$S_{sy} = 94.16 \text{ kg/mm}^2$$

Caculo resistencia ultima a la torsión (Sse)

$$S_{se} = k_c * \frac{1}{k_f} * S'_{se} \quad (12)$$

Donde k_c debe de ser mayor que uno, pero para una confiabilidad del 90% $k_c=1$. Y $S'_{se}=45\text{kg/mm}^2$ por ser enfriado en aceite.

$$S_{se} = 1 * \frac{1}{1.18} * (45\text{kg/mm}^2)$$

$$S_{se} = 38.13 \text{ kg/mm}^2$$

Cálculo del factor de seguridad del cuerpo del resorte

Aplicando el teorema de GOODMAN para materiales expuestos a torsión y corte.

$$\tau_a = \frac{S_{se}}{n} \quad \tau_a + \tau_m = \frac{S_{sy}}{n} \quad (13)$$

Donde n= factor de seguridad; el cual debe ser mayor o igual a 1.

$$n1 = \frac{S_{se}}{\tau_a} \quad n2 = \frac{S_{sy}}{\tau_a + \tau_m}$$

$$n1 = \frac{38.13 \text{ kg/mm}^2}{36.3 \text{ kg/mm}^2}$$

$$n1 = 1.05$$

$$n2 = \frac{94.16 \text{ kg/mm}^2}{36.3 \text{ kg/mm}^2 + 36.3 \text{ kg/mm}^2}$$

$$n2 = 1.3$$

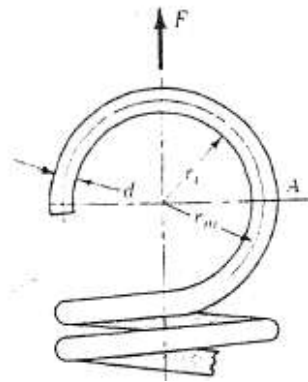
- El factor de seguridad $n1 = 1.05$ es del cuerpo del resorte.
- El factor de seguridad $n2 = 1.3$ es del alambre del resorte.

Los factores de seguridad son aceptables para el cuerpo del resorte.

Cálculo del factor de seguridad de los ganchos

Para calcular el factor de seguridad de los ganchos tenemos los siguientes datos que son:

Figura 72. Diámetros principales de los ganchos [21]



- Radio interior $ri = 8 \text{ mm}$
- Radio medio $rm = 10 \text{ mm}$
- Diámetro del alambre $d = 4 \text{ mm}$
- Diámetro exterior de los ganchos $De = 24 \text{ mm}$
- Diámetro de los ganchos $D = 20 \text{ mm}$

Calculamos la relación entre rm/ri

$$\frac{rm}{ri} = \frac{D}{De - 2d} \quad (14)$$

$$\frac{rm}{ri} = \frac{20 \text{ mm}}{24 \text{ mm} - 2 * 4 \text{ mm}}$$

$$\frac{r_m}{r_i} = 1.25$$

Cálculo de los esfuerzos máximo (σ_a) y mínimo (σ_m) en los ganchos

$$\sigma_a = \frac{4 * F_a}{\pi * d^3} \left[d + \frac{r_m}{r_i} * 4D_G \right] \quad \sigma_m = \frac{4 * F_m}{\pi * d^3} \left[d + \frac{r_m}{r_i} * 4D_G \right] \quad (15)$$

Donde D_G son los diámetros de los ganchos y es igual a D; tomamos el mismo diámetro del cuerpo del resorte ya que por estética los diámetros de los ganchos deben de ser igual al cuerpo del resorte.

$$\sigma_a = \frac{4 * 41.5 \text{ kg}}{\pi * (4 \text{ mm})^3} [4 \text{ mm} + 1.25 * 4 * 20 \text{ mm}]$$

$$\sigma_a = 86 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{4 * 41.5 \text{ kg}}{\pi * (4 \text{ mm})^3} [4 \text{ mm} + 1.25 * 4 * 20 \text{ mm}]$$

$$\sigma_m = 86 \text{ kg/mm}^2$$

Aplicando el teorema de GOODMAN

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (16)$$

Despejando n de la ecuación 16:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

Para lo cual según tablas $S_e = 275.04 \text{ kg/mm}^2$ (solo para ganchos); y S_{ut} es el mismo valor obtenido anteriormente que es 163.2 kg/mm^2 . Remplazando.

$$n = \frac{1}{\frac{86 \text{ kg/mm}^2}{275.04 \text{ kg/mm}^2} + \frac{86 \text{ kg/mm}^2}{163.2 \text{ kg/mm}^2}}$$

$$n = \frac{1}{0.83}$$

$$n = 1.20$$

El valor del factor de seguridad supera a 1 con lo cual los diámetros de los ganchos son aceptables y quedando demostrado de que estos diámetros deben de ser iguales al diámetro “D” del cuerpo del resorte.

De esta manera nuestro resorte tendrá las siguientes características de diseño las cuales son:

- Número de espiras (N)= 28
- Longitud del cuerpo (Lb)= 84.78mm
- Diámetro exterior del cuerpo del resorte (De)= 24mm
- Diámetro medio del cuerpo del resorte (D)= 20mm
- Radio interno de ganchos (ri)= 8 mm
- Radio medio de ganchos (rm)= 10 mm
- Deformación (δ)= 75mm
- Fuerza máxima (F)= 83kg

Para simular la fuerza resistencia al viraje de las ruedas directrices, en el tablero didáctico se monto dos resortes de las mismas características las cuales sumando las fuerzas de flexión dan 166kg (1626.8N) la cual era inicialmente la fuerza de resistencia requerida.

Figura 73. Resortes montados en el tablero didáctico



4.1.6 Proceso de soldadura y construcción de la estructura del tablero didáctico. Luego de realizar los correspondientes Cálculos del perfil de la estructura y diseñar en SolidWorks cada uno de los apoyos tanto de la estructura como de los elementos del sistema de dirección (EPS) procedemos a soldar.

El proceso de soldadura a utilizar es la soldadura por arco eléctrico. El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea. El arco eléctrico genera un cráter en la pieza. Es fundamental, para que la soldadura presente una penetración eficaz, tener en cuenta la longitud del arco (distancia entre el extremo del electrodo y la superficie del baño fundido).

Si el arco es demasiado pequeño, la pieza se calienta exageradamente y la penetración resulta excesiva; en ese caso, puede llegar a producirse una perforación peligrosa. Por el contrario, si el arco es demasiado largo, se dispersa parte de su calor, y la penetración resulta insuficiente. Las temperaturas que se generan son del orden de 3.500°C . Para soldar nuestra estructura se utilizó el electrodo 6011.

Figura 74. Soldadura por arco eléctrico [22]

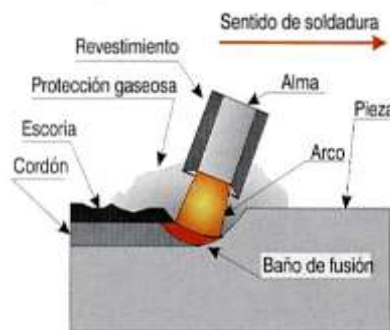


Figura 75. Tablero didáctico en el proceso de soldadura



Luego de culminar con el proceso de soldadura podemos observar en la figura 76 el tablero didáctico terminado y ubicado cada uno de los elementos.

Figura 76. Tablero didáctico terminado



Para la construcción del tablero didáctico fueron empleado los siguientes materiales:

Tabla 7. Materiales empleados para la construcción del tablero didáctico

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL/MODELO
Tubo estructural cuadrado	18 m	Acero / (25*25*1)mm
Rueda industrial	4	Acero / 40mm
Plancha industrial	1 unidad	Acero / (2*1* 0.001) m
Platina	2 unidades	Acero/ (40*50*2)mm
Platina	2 unidades	Acero / (40*90*2)mm
Tuerca	4 unidades	Acero / 1/2 ``
Perno	4 unidades	Acero /(1/2 * 1)``
Tuerca	4 unidades	Acero / (3/4 * 1 1/4)``
Perno	4 unidades	Acero / 3/4 ``

4.2 Diseño del circuito electrónico

El diseño del circuito electrónico consiste en poner en funcionamiento el sistema de dirección asistida eléctricamente mediante la simulación o generación de las señales del motor requeridas por la unidad de control de dirección la misma que controlara la asistencia del motor de este sistema. Además de esto el circuito electrónico deberá permitir comunicarnos con la PC.

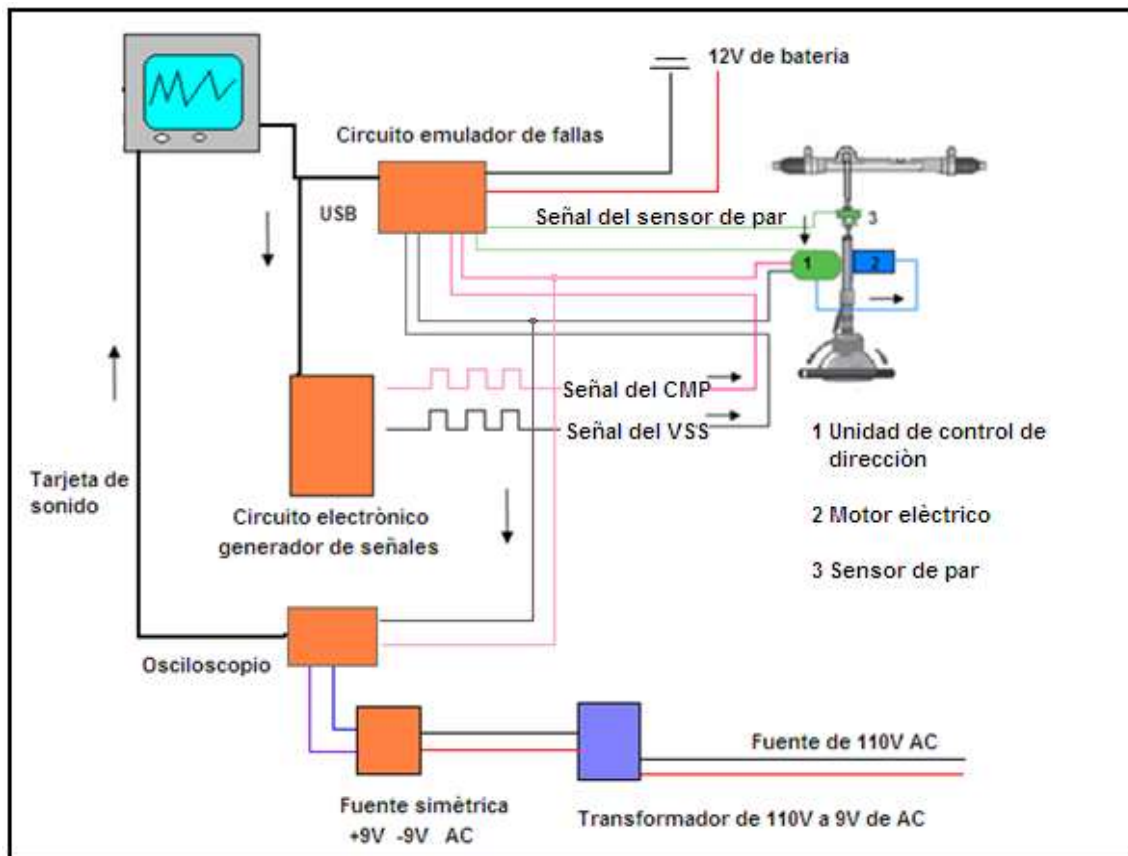
Para el diseño del circuito electrónico tenemos que tener en cuenta las señales que vamos a simular o crear. Para este sistema las señales que vamos a generar son:

- Señal del sensor CMP.
- Señal del sensor VSS.

El sistema de dirección eléctrica necesita de las señales del sensor de par, este sensor es propio del sistema, el cual solo debemos de ingresar hacia la unidad de control dirección, este sensor genera o emite dos tipos de señales indispensables para el funcionamiento del sistema las cuales son:

- Señal principal de par.
- Señal auxiliar de par.

Figura 77. Diagrama funcional del circuito electrónico



Estas señales creadas (VSS y CMP) deben ser visualizadas en la PC.

También en el tablero didáctico debemos simular fallas del sistema para lo cual debemos cortar las señales del sistema de dirección asistida eléctricamente desde la PC. Esto nos permitirá realizar las prácticas estudiantiles de mera didáctica.

Para todas estas operaciones utilizaremos una conexión vía USB el cual nos permite variar las frecuencias de los dos sensores y a su vez simular fallas desde la PC mediante el programa LabVIEW.

4.2.1 Circuito de conexión vía USB [23]. Para la selección de un microcontrolador debemos tener en cuenta el número de salidas de datos que tenemos que manejar, y cuantas entradas maneja la conexión USB para nuestro caso tenemos:

- Un máximo de 2 entradas del USB.
- Un máximo de 6 salidas de datos.

Las entradas de datos corresponden a la conexión USB desde la PC hacia el circuito. Mientras que las salidas de datos corresponden a salidas de de datos de los sensores

VSS y CMP; las 4 salidas restantes son para el control de relés los cuales van a cortar las señales que ingresan al sistema.

De acuerdo a nuestros requerimientos existen diversos microcontroladores los cuales nos permiten trabajar mediante la vía USB, los cuales son:

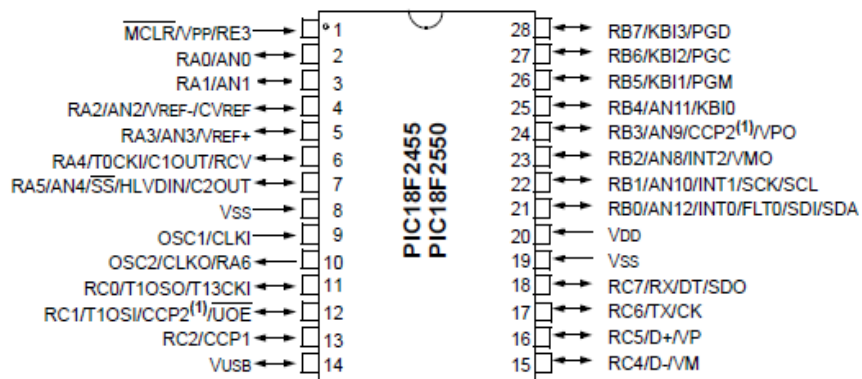
- PIC 18F2455.
- PIC 18F2550.
- PIC 18F4455.
- PIC 18F4550.

Cada uno de estos microcontroladores pueden trabajar mediante vía USB, pero debemos escoger un microcontrolador que cumpla las condiciones expuestas en el principio y los microcontroladores 18F4455 y 18F4550 poseen un número de puertos mayor a lo requerido por lo cual su costo aumenta, y no le los ocupara en este caso.

En tanto que el microcontrolador 18F2550 y 18F2455 posee sus puertos de entradas y salidas de datos suficientes para la programación de nuestro circuito electrónico; de estos dos micros el más adecuado es el PIC 18F2550 debido a que tiene una mejor velocidad de procesamiento de datos y es el más común en manejar conexiones USB

En la figura 78 se detalla el microcontrolador 18F2550 y las funciones respectivas de sus pines.

Figura 78. Pines del PIC 18F2550



Las características de este microcontrolador se detallan en la figura 79; donde la tensión de alimentación es de 5V, esto es muy importante tenerlo en cuenta ya que si el microcontrolador recibe más voltaje de alimentación tiende a quemarse, en nuestro caso la alimentación de los micros se lo realizara con el USB es decir desde la PC el cual nos suministra 5V.

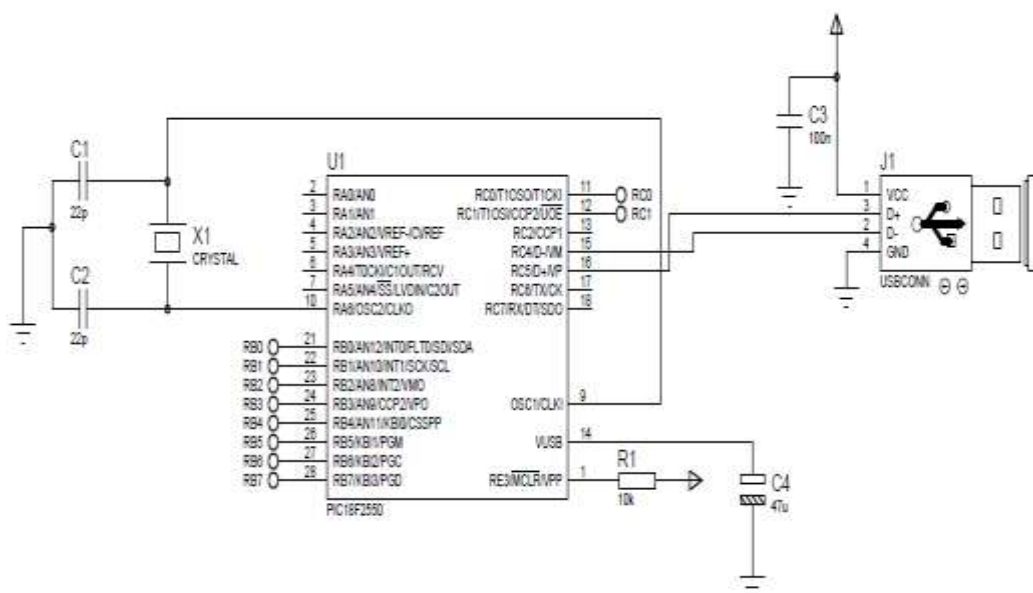
Figura 79. Características del microcontrolador 18F2550

PARÁMETROS	PIC18F2550
Tensión de Alimentación	5V
Corriente máxima de entrada	250mA
Corriente máxima de salida por todos los pines	200mA
Corriente máxima de entrada en un pin I/O	25mA
Corriente máxima de salida en un pin I/O	25mA
Temperatura de almacenamiento	-65°C<T<+150°C
Potencia disipada total	1.0 W
Memoria FLASH	32kbytes
Memoria SRAM	2048bytes
Memoria EEPROM	256bytes
Dimensiones	10.34 x 17.87 x 2.50 mm
Tipo de encapsulado	PDIP

De acuerdo a la estructura del microcontrolador sabemos que podemos enviar o recibir información mediante los puertos C, luego esta información ingresa o sale hacia una PC mediante USB; en este caso trabajaremos con los puertos B de los cuales podemos utilizar cualquiera de sus puertos ya que al momento de programar el microcontrolador declaramos a todos los puertos B como salidas, es decir a través de estos puertos enviaremos información desde la PC mediante USB.

De igual manera para la simulación de averías los datos para controlar los relés ingresaran por el puerto C.

Figura 80. Diagrama de conexión del microcontrolador 18F2550



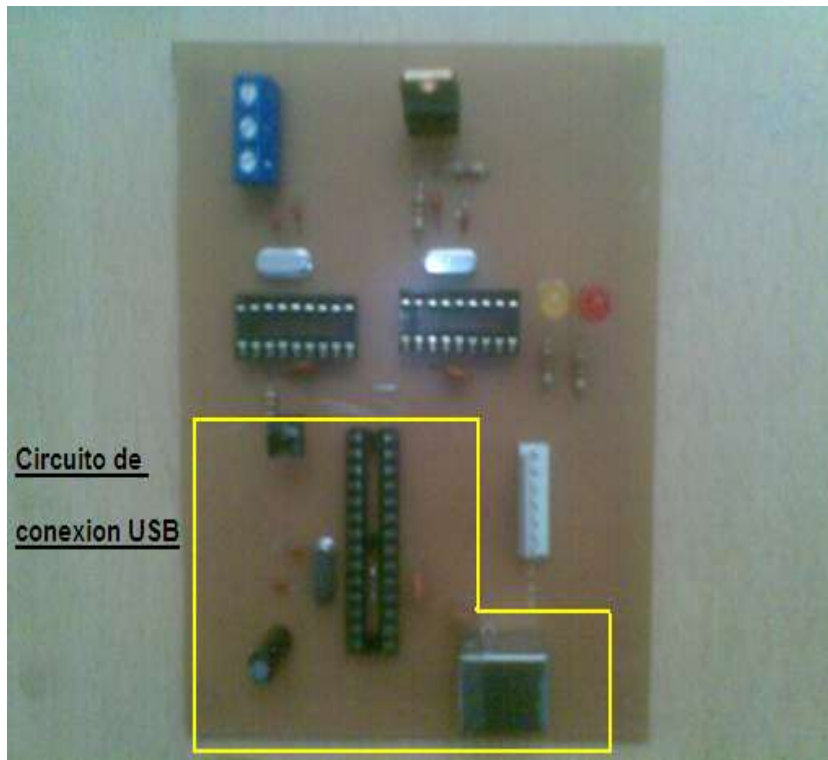
En la figura 80 se puede apreciar el diagrama de conexión del PIC18F250 el cual va funcionar paralelamente con LabVIEW. En este caso es necesario utilizar un oscilador (X1 CRYSTAL) externo para mejorar la velocidad de procesamiento del microcontrolador.

Los elementos que se utilizaron para la construcción de este circuito se detallan en la tabla 8 que son:

Tabla 8. Lista de elementos para la creación del circuito de conexión USB

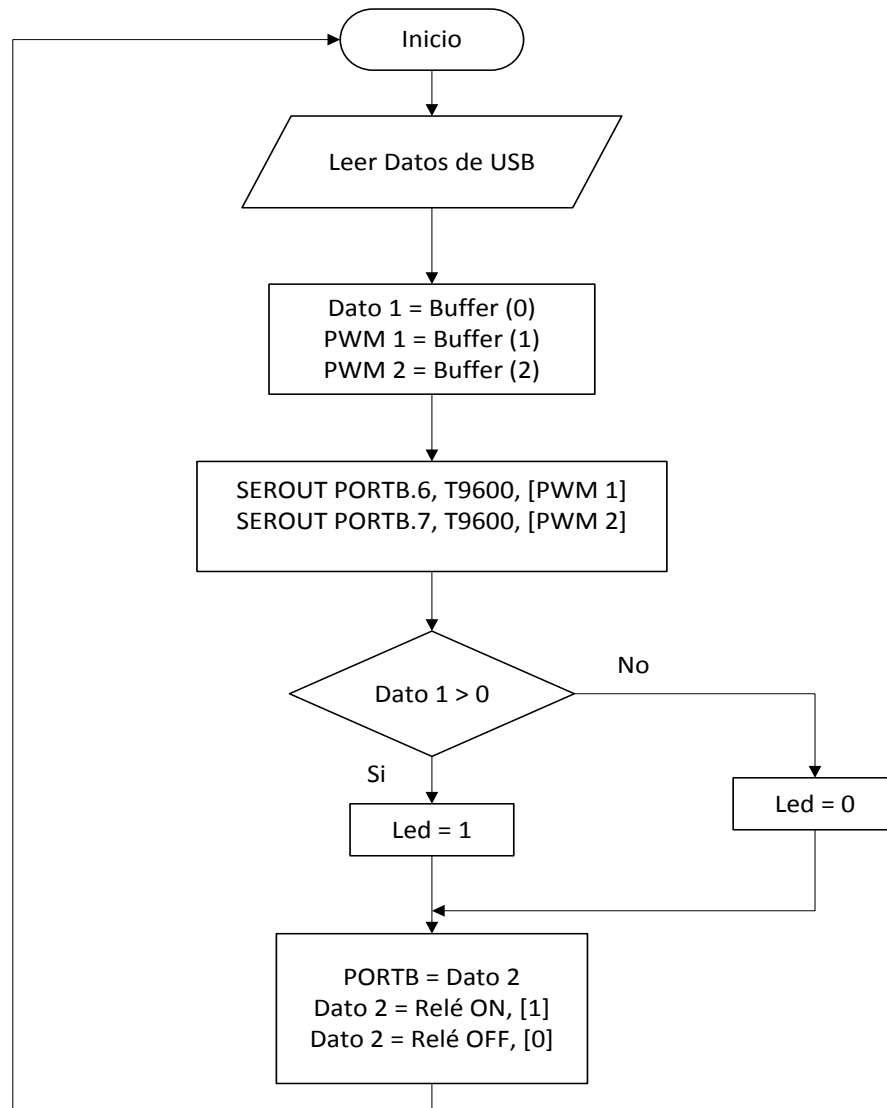
ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
PIC 18F2550	1 unidad	Microchip
Capacitor	2 unidades	Ceramicos / 2.2p
Resistencia	1 unidad	10 K
Capacitor	1 unidad	Electrolítico / 4.7 uF
Cristal	1 unidad	20 MHz
Conexión USB	1 unidad	USB CONN

Figura 81. Circuito de conexión USB



4.2.1.1 Programación del microcontrolador en diagrama de bloques

Figura 82. Digrama de flujo de la conexión USB



La programación del microcontrolador inicia con una operación de **inicio**, luego lee los Buffers del USB los cuales vienen desde LabVIEW, estos datos vienen almacenados en un buffer como en este caso vamos a controlar los relés, cambiar o variar la frecuencia de dos PWM los cuales son de los sensores VSS y CMP; y debido a esto al microcontrolador ingresaran tres cadenas de información almacenados en un buffer los cuales son:

- Dato 1
- PWM 1
- PWM 2

Una vez que el microcontrolador haga sus operaciones cada una de estas informaciones lo sacara como dato por sus respectivos puertos, teniendo así que por el puerto RB6 y RB7 enviara el dato de los PWM a otro microcontrolador.

Para sacar el otro dato, el microcontrolador compara si el Dato 1 es mayor que cero, si el Dato 1 es mayor que cero entonces activa los relés y prende un led; si en caso de que el Dato 1 no sea mayor que cero no activa los relés y no se enciende el led y continua de esta manera hasta que exista un cambio de Dato 1.

Cabe mencionar que este Dato 1 debe salir por los puertos RB0, RB1, RB2 y RB3 por el hecho de tener 4 relés. En el Dato 1 viene almacenado una información de 0 lógico o 1 lógico.

4.2.2 Simulación de la señal del sensor VSS. La señal del sensor VSS (sensor de velocidad del vehículo) es quien informa a la unidad de control de dirección a la velocidad a la cual se está conduciendo el vehículo tanto en línea recta como al momento de parquear.

Como es un sensor de efecto Hall su gráfica es cuadrada, como podemos observar en la figura 55 su frecuencia varía de acuerdo a la aceleración.

En la tabla 9 se detalla el valor de la frecuencia vs la velocidad del vehículo. Es importante los datos de la frecuencia ya de este parámetro depende el trabajo de la unidad de control de dirección

Tabla 9. Valor de la frecuencia en función de la velocidad

Velocidad (Km/h)	Frecuencia (Hz)
0	0
8	4.19
20	12.52
30	17.6
40	25.01
60	39.66
80	50.02
100	60.56
120	76.11
140	92.31
160	102.8

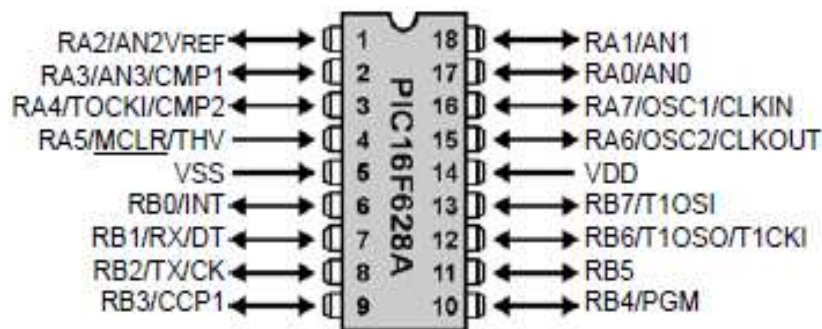
De esta manera obtenemos los siguientes datos para la generación de la señal del sensor VSS que son:

- Frecuencia mínima: 0Hz.
- Frecuencia máxima: 103Hz.
- Señal alta: 8 a 12 V.
- Señal baja: 0.2 a 0.5 V.
- Ancho de onda en alto: 50%.
- Ancho de onda en bajo: 50%.

Para la simulación del sensor VSS utilizaremos un microcontrolador **PIC 16F628A** el cual nos permite programar y variar la frecuencia desde el LabVIEW. Además este PIC debe permitir transformar una señal analógica en digital.

En la figura 82 se detalla el microcontrolador y las funciones respectivas de sus pines.

Figura 83. Pines del microcontrolador 16F628A [24]

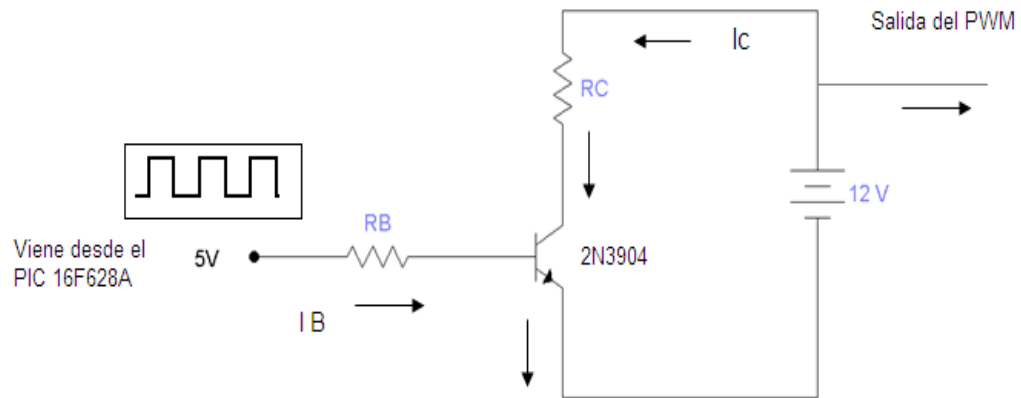


En la figura 84 tenemos el circuito de conexión del mismo, en donde, los puertos RB son entrada de datos y los puertos RA son salida de datos. A este PIC ingresarán datos desde la PC a través de la conexión USB y el PIC 18F2550, la conexión de PIC a PIC se lo realiza entre el pin RB6 del PIC 18F2550 y el pin RB1 del PIC 16F628A.

Antes de que ingrese los datos al PIC 16F628A, este debe estar programado para generar la señal del sensor VSS que sería un PWM (módulo de ancho de pulso), el tipo de dato que ingresa a este PIC será un BIT un valor de 0 a 200 Hz el cual hace que varíe la frecuencia del sensor VSS.

4.2.2.1 Conmutación de la señal de 5 a 12 voltios en alto. Como este PIC está alimentado con 5V el cual es una señal analógica, este hace su operación y de acuerdo a la programación lo transforma en 0V en bajo y 5V en alto. Debido a que necesitamos una señal digital de 0V en bajo y 12V en alto utilizamos un transistor 2N3904 (TIP 122) para elevar el voltaje en alto. Para lo cual tenemos la siguiente configuración como se observa en la Figura 83.

Figura 84. Diagrama de conexión para saturar la señal de 5V a 12 V



En este circuito debemos calcular las resistencias R_C y R_B para obtener una salida del PWM de 0 a 12V. Para este Cálculo tenemos los siguientes datos que son:

- $I_C = 1\text{mA}$.
- $\beta = 100$.

Donde I_C es la corriente del colector del transistor y β es la ganancia del transistor.

Cálculo de la corriente I_B del transistor

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (17)$$

$$100 = \frac{1\text{mA}}{I_B}$$

$$I_B = 0.01\text{mA}$$

Cálculo de la resistencia R_B del transistor

Para lo cual asumimos que el transistor esta en zona saturación. Entonces:

$$V_{EB} = 0.7\text{V}$$

Donde V_{EB} es el voltaje emisor- base del transistor.

Aplicando leyes de voltaje de kirchof.

$$V_B - V_{EB} = I_B * R_B \quad (18)$$

Donde:

- V_{EB} = es el voltaje de la base del transistor
- I_B = e la intensidad de la base del transistor
- R_B = es la resistencia de la base del transistor

$$R_B = \frac{V_B - V_{EB}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{5V - 0.7V}{0.02mA}$$

$$R_B = 215K$$

Cálculo de la resistencia R_C del transistor

Como el transistor esta en zona de corte, entonces:

$$V_{CE} = 0.V$$

Donde V_{CE} es el voltaje colector-emisor del transistor.

Aplicando leyes de voltaje de kirchof.

$$V_C - V_{CE} = I_C * R_C \quad (19)$$

Donde:

- V_C = es el voltaje del colector del transistor
- I_C = es la intensidad del colector del transistor
- R_C = es la resistencia del colector del transistor

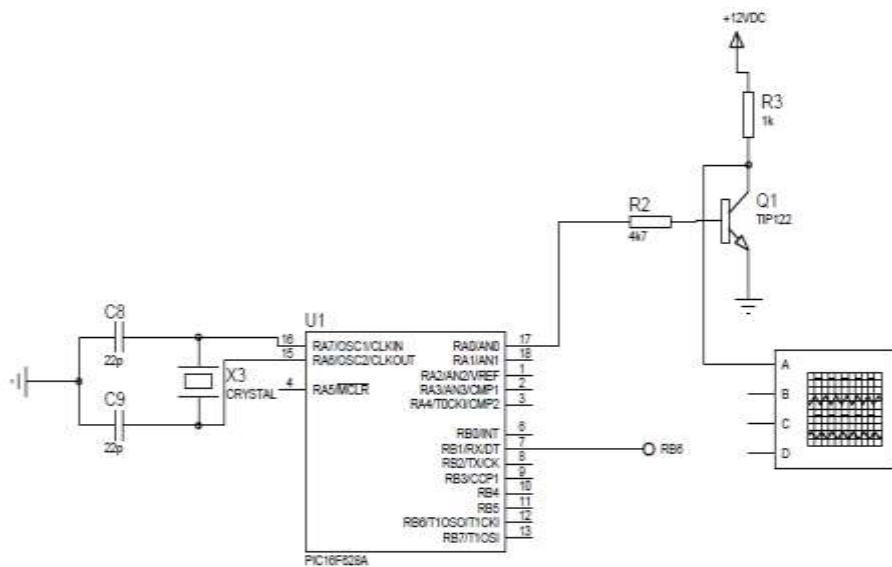
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{12V - 0.V}{1mA}$$

$$R_C = 12.K$$

Luego de calcular las resistencias adecuadas para obtener los 12V en alto requeridos realizamos las respectivas conexiones del circuito. En la figura 84 se detalla el circuito que va a simular la señal del sensor VSS.

Figura 85. Diagrama de conexión para la simulación del sensor VSS



Los elementos utilizados para la construcción de este circuito son:

Tabla 10. Lista de elemtos para la construccion del circuito de simulacion del sensor VSS

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
PIC 16F628A	1 unidad	Microchip
Capacitor	2 unidades	Ceramicos / 2.2p
Resistencia	1 unidad	215 K
Transistor	1 unidad	Tip 122 / PNP
Cristal	1 unidad	20 MHz
Resistencia	1 unidad	12 k

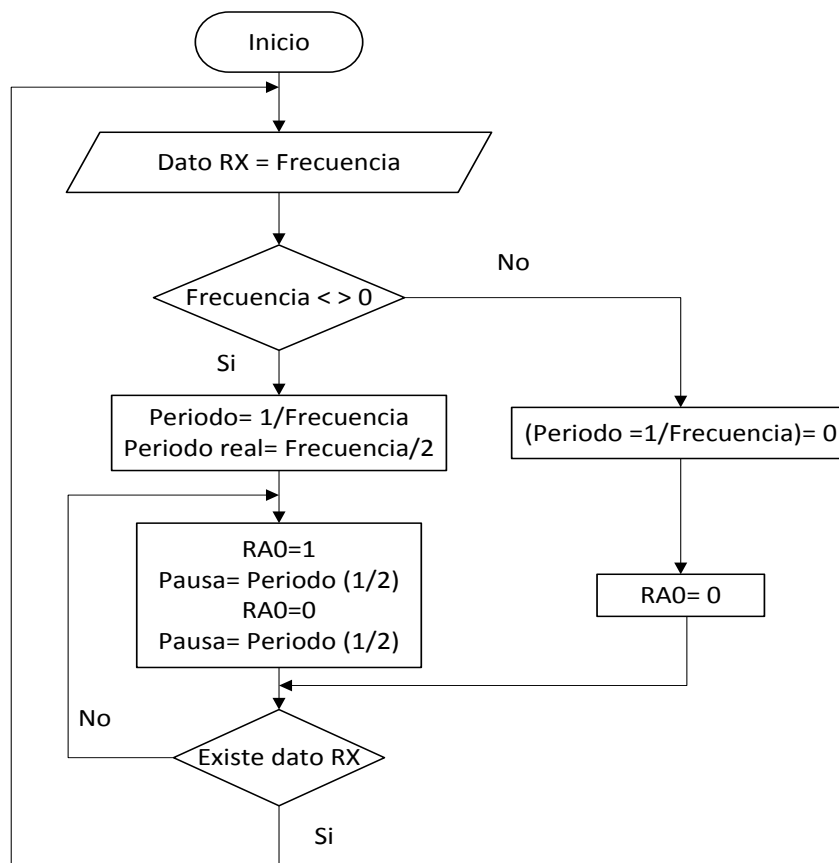
Figura 86. Circuito para la simulacion del sensor VSS



La alimentación de la batería para este circuito ingresará directamente al transistor para lo cual debe guiarse en el circuito impreso de la figura 88 para saber cual es entrada positiva y cual es entrada negativa. Esto como seguridad para evitar que el transistor se queme o no sature la señal adecuadamente.

4.2.2.2 Programación del microcontrolador en diagrama de bloques. La programación de este microcontrolador inicia leyendo el Dato RX = frecuencia, este dato viene desde el micro 18F2550 como sabemos este micro envía los datos para variar la frecuencia, realizamos esta comunicación de micro a micro para obtener un mejor resultado al momento de generar los PWM, luego de esto el microcontrolador 16F628A realiza una pregunta si la frecuencia es mayor o menor que 0.

Figura 87. Diagrama de flujo de la simulación del sensor VSS



Si la frecuencia es mayor que cero el microcontrolador calcula el periodo, el cual es igual $1/\text{frecuencia}$, luego de esto calcula un periodo real dividiendo la frecuencia para 2 de esta manera se obtiene una onda cuadrada de un porcentaje igual tanto el voltaje en alto como en bajo, pasa a otra operación en donde el microcontrolador envía el PWM por el puerto RA0, pero como es una onda cuadrada hace una pausa al periodo es

decir al un 1 lógico y de igual manera hace con el 0 lógico dando forma a una onda cuadrada. Si en caso de que la frecuencia sea menor que 0 el periodo se quedará en cero por ende la frecuencia será 0, debido a esto el microcontrolador por su puerto RA0 enviara un 0 lógico. Nuevamente el micro vuelve a realizar una segunda pregunta el cual analiza si existe un cambio de frecuencia; en el caso de que exista el cambio pasa a leer el dato en el inicio y continúa con los pasos explicados. En el caso de que no haya cambio de frecuencia el microcontrolador sigue enviando los datos de frecuencia calculados inicialmente hasta que haya un cambio de la frecuencia.

4.2.3 Simulación de la señal del sensor CMP. Al igual que en el caso anterior, para la simulación de la señal de este sensor debemos de crear una tabla en donde tengamos el valor de las revoluciones del motor de combustión interna vs la frecuencia. De esta manera se obtiene el valor máximo y mínimo de la frecuencia la cual va a ingresar a la unidad de control de la dirección.

Tabla 11. Tabla de frecuencias vs velocidades

RPM	Frecuencia (Hz)
0	0
700	21.67
1000	30.55
1500	52.77
2000	68.50
2500	83.17
3000	101.63
3500	113.15
4000	133.45
5000	167.01

El tipo de señal que debemos simular es la figura 54 en el cual se puede apreciar el tipo de onda de este sensor.

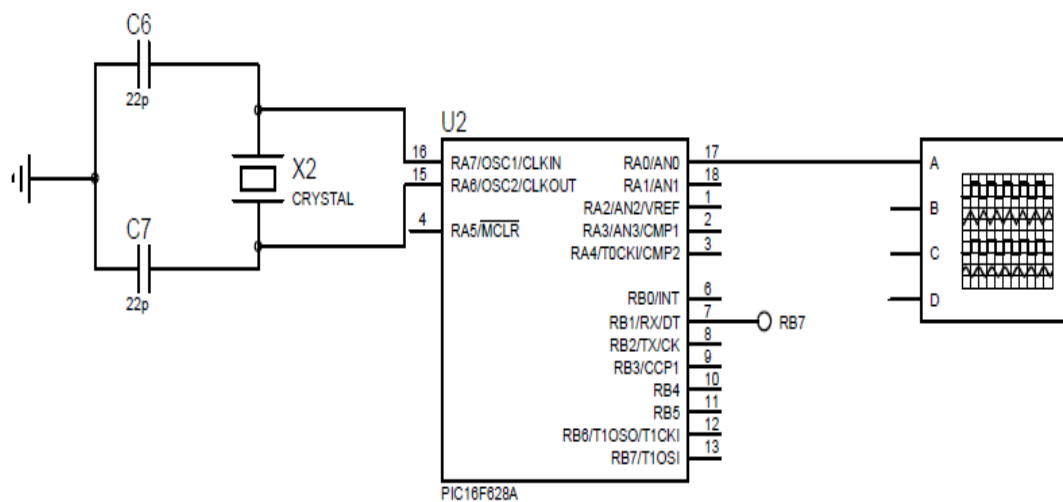
De acuerdo a la gráfica los datos para simular esta señal son:

- Señal en alto: 5V
- Señal en bajo: 0V
- Frecuencia máxima: 167.01Hz
- Frecuencia mínima: 0Hz
- Ancho de onda en alto: 50%
- Ancho de onda en bajo: 50%

Para la simulación de la señal del sensor CMP utilizaremos el microcontrolador **PIC 16F628A**, como en el caso anterior, este PIC cumplirá las mismas funciones, como de recibir datos por medio de su puerto RB1 y entrega los datos procesados por medio del puerto RA0. Luego de ingresar los datos, estos a su vez serán procesados para entregar una señal de PWM con un voltaje de 0V en bajo y 5V en alto; la misma que ingresará a la unidad de control de unidad de dirección.

Para este caso, la señal no necesita ninguna modificación como en el caso anterior, por lo que la señal es la requerida como especifica el manual. En la figura 87 se indica el diagrama de conexión el cual va a simular la señal de este sensor.

Figura 88. Diagrama de conexión para la simulación del sensor CMP



Los elementos utilizados para la creación de este circuito son:

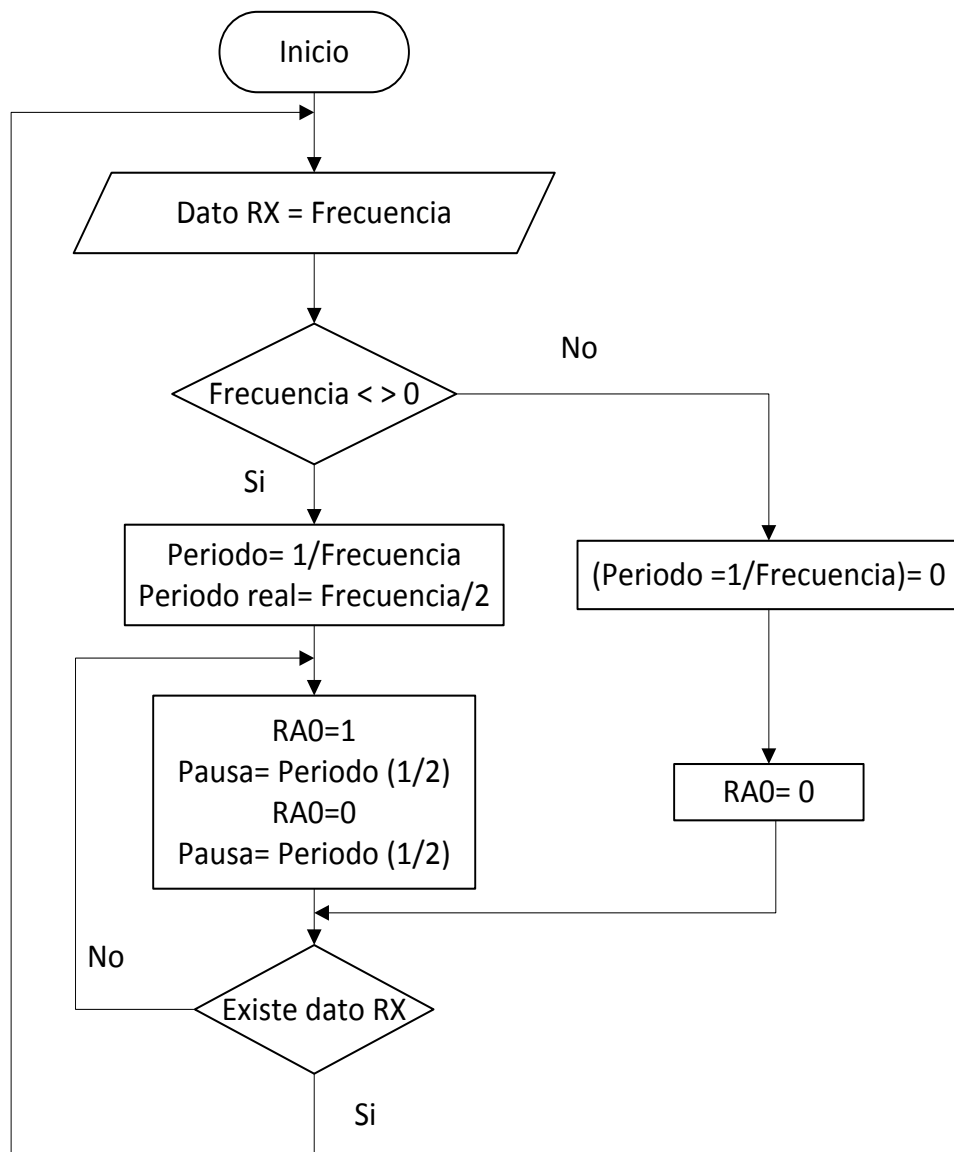
Tabla 12. Lista de elementos para la creación del circuito para la señal del sensor CMP

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
PIC 16F628A	1 unidad	Microchip
Capacitor	2 unidades	Ceramicos / 2.2p
Cristal	1 unidad	20 Hz

Los capacitores deberan ser ceramicos, bajo ninguna razón se podra remplazarlos por un capacitor electrolitico esto haria que el circuito se vuelva lento al momento de procesar los datos, de igula menra debemos tener cuidado al momento de seleccionar el cristal u oscilador externo.

4.2.3.1 Programacion del microcontrolador en diagrama de bloques. La programacion de este microcontrolador es similar al anterior la diferencia es que esta señal saldrà de 5V màxima en alto y 0V en bajo, la frecuencia màxima serà de 167 Hz y na mínima de 0Hz como se especifico en la tabla 4.9.

Figura 89. Diagrama de flujo de la simulacion del sensor CMP



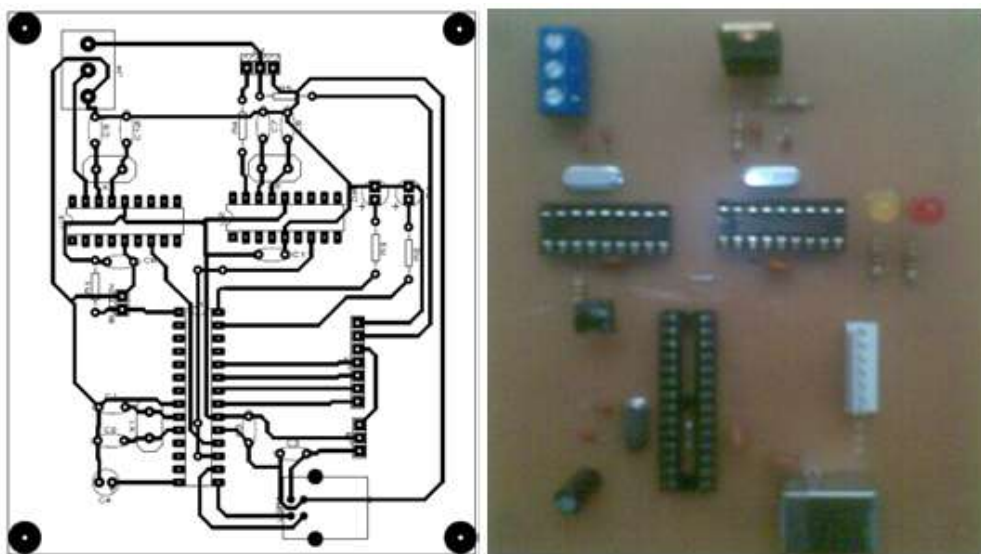
Nota: Como se puede observar en los 3 circuitos se ha utilizado un oscilador externo de alta frecuencia (cristal de 20Mhz) con el fin de mejorar la velocidad de procesamiento del microcontrolador al momento de procesar los datos de entrada. Con esto obtenemos una mejor precisión en la salida de datos que en nuestro caso sería los PWM.

Figura 90. Circuito de simulación del sensor CMP



El diseño de la placa impresa y el circuito armado que se muestra en la figura 88 es general para, poder crear tanto el circuito de la conexión USB, simulación del sensor VSS y simulación del sensor CMP.

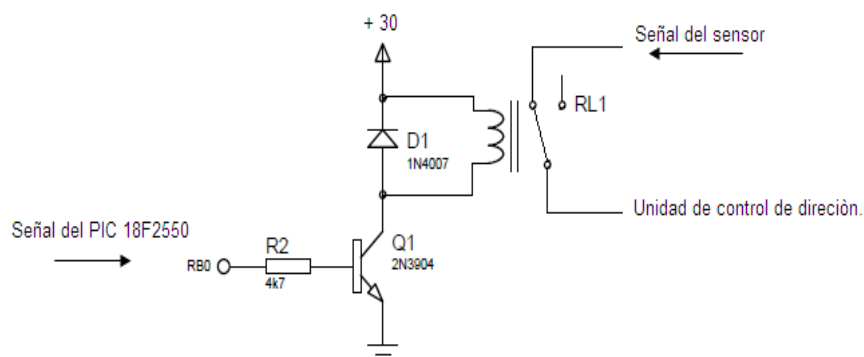
Figura 91. Diseño de la placa impresa y circuito armado



4.2.4 Circuito para la simulación de averías. Nuestro circuito además de crear señales debe de simular las fallas comunes que se producen dentro del sistema de dirección eléctrica. Para lo cual debemos de crear un circuito el cual nos permita realizar esta simulación, el circuito se encargara de cortar las señales que ingresan a la unidad de control de dirección; conjuntamente desde la PC mediante LabVIEW. El programa LabVIEW se encarga de cortar las siguientes señales que son:

- Señal principal de par.
- Señal auxiliar de par.
- Señal del sensor CPM.
- Señal del sensor VSS.

Figura 92. Diagrama de conexión de un relé normalmente cerrado



En el circuito de la figura 89 se puede observar la configuración del relé, donde desde el programa LabVIEW enviamos un voltaje de 5V o 0V (1/0 lógico) según se requiera, la señal ingresa vía USB y pasa a través del PIC 18F2550 el cual a su vez a través de los puerto RB0 envía el voltaje de 5V o 0V; en el momento que ingresa el voltaje de 5V este hace que el transistor se polarice permitiendo el paso de la corriente entre el emisor y el colector del transistor, como consecuencia la corriente fluirá hacia el PIN 86 del relé lo cual hará que éste se accione y cambie de posición; inmediatamente se crea la avería debido a que se ha cortado la señal entre el sensor y la unidad de control de dirección. Debido a que tenemos 4 señales elementales para el funcionamiento del sistema de dirección eléctrica se utilizará un relé para cada señal.

La alimentación para este circuito lo tomamos de la batería de 12V.

Los elementos utilizados para la creación de este circuito son:

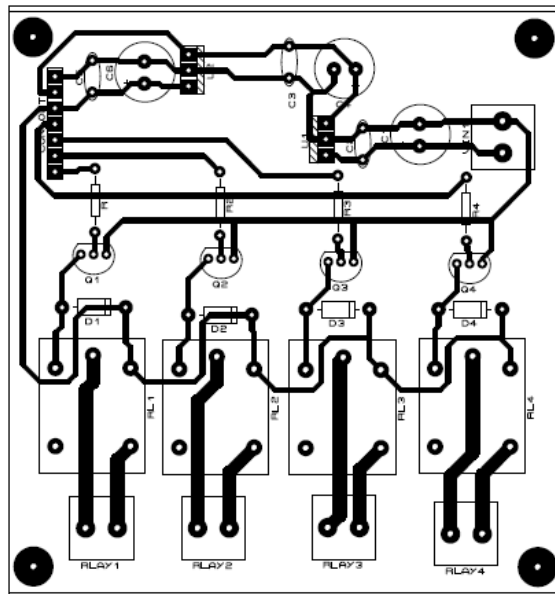
Tabla 13. Lista de elementos para el circuito de simulación de averías

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL/ MODELO
Diodo	4 unidades	/ 1N4007
Resistencia	4 unidades	/ 4.7K
Transistor	4 unidades	2N3904 / NPN
Relé	4 unidades	5 V

Figura 93. Circuito para la simulación de averías



Figura 94. Diseño del circuito impreso para la simulación de averías



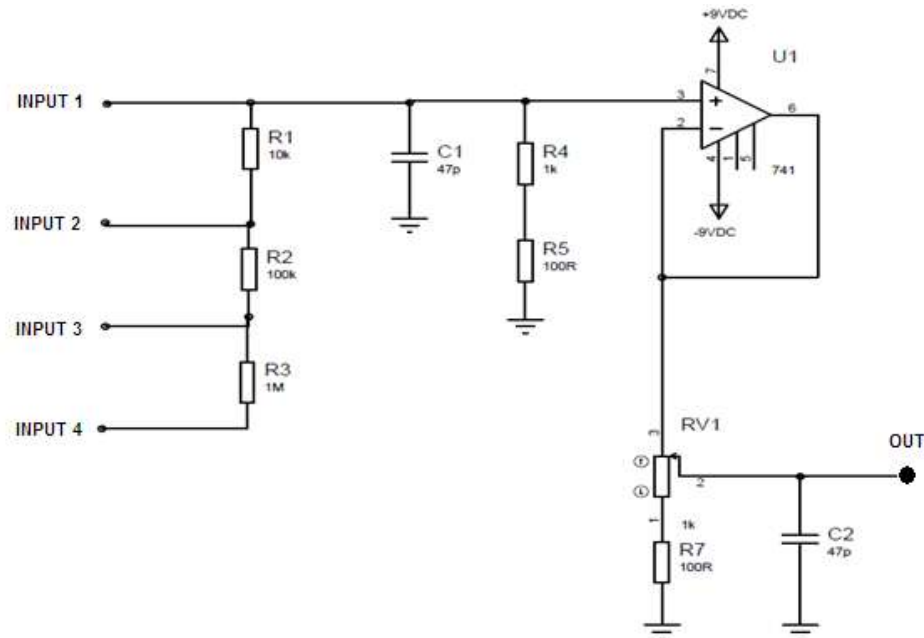
4.2.5 Creación del circuito para la visualización de las señales. Con la realización de este circuito el cual es un osciloscopio, podemos observar como varían su frecuencia tanto el sensor CMP y VSS; es importante variar las frecuencias de estos dos sensores para poder dar condiciones de manejo o funcionamiento al sistema de dirección asistida eléctricamente. Además de esto el osciloscopio también podrá observar lo que ocurra cuando se corten las señales simuladas.

Para poder construir este circuito debemos tener en cuenta los voltajes que vamos a ingresar al circuito, en este caso tenemos los siguientes voltajes:

- Voltaje del sensor VSS: 12V
- Voltaje del sensor CMP: 5V

El tipo de conexión para la visualización de las señales será una conexión vía tarjeta de sonido de la PC, para lo cual realizamos la siguiente configuración del circuito que se muestra en la figura 92.

Figura 95. Diagrama de conexión del osciloscopio



La señales ingresarán por el conector (INPUT), donde tenemos cuatro entradas para las señales y por uno de estas entradas nuestras señales serán ingresadas para lo cual cada una de estas deberán ser probadas, pero como en nuestro caso tenemos voltajes bajos ocuparemos la primera entrada debido a que tiene una resistencia de 10K Ω ; a medida que tengamos mayor voltaje de entrada aumentamos la resistencia debido a esto tenemos una resistencia de 100K Ω y 1M Ω ; cada una de estas resistencias nos ayuda a bajar la impedancia.

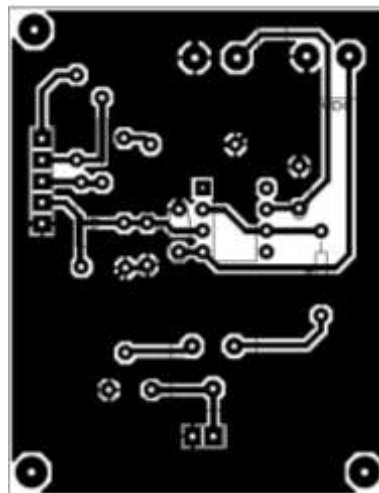
La reducción del voltaje logramos obtener con un integrado LM741, con lo cual el voltaje de salida queda calibrado entre 1V pico a pico; a continuación existe un potenciómetro para poder estabilizar las señales y el capacitor C2 de 47p nos ayuda a filtrar el ruido.

Los elementos que se utilizaron para la creación de este circuito son los siguientes:

Tabla 14. Lista de elementos para la creacion del circuito de los osciloscopios

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
Resistencia	1 unidad	10K
Resistencia	1 unidad	100K
Resistencia	1 unidad	1M
Resistencia	2 unidades	100R
Resistencia	1 unidad	1K
Capacitor	2 unidades	Cerámicos / 47p
Resistencia	1 unidad	10K / Potenciómetro
Integrado	1 unidad	LM741

Figura 96. Diseño de la placa para el osciloscopio



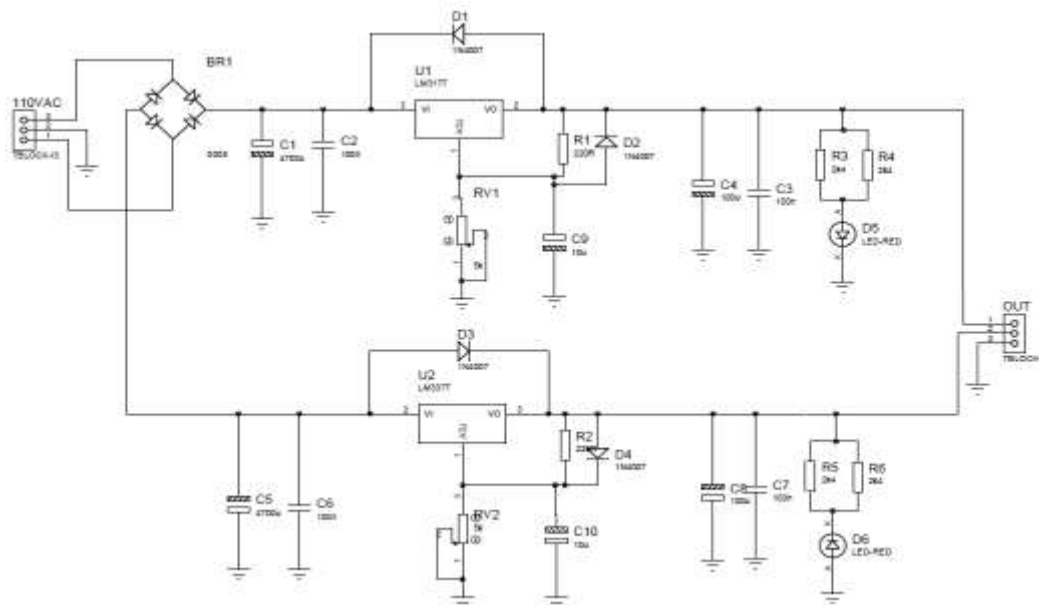
En la figura 93 se detalla el circuito impreso que se debe de construir para este circuito en el cual debemos de recubrir casi toda la parte posterior al circuito de estaño con la finalidad de que el ruido no perturbe la señales que ingresemos a la tarjeta de sonido.

Figura 97. Circuito del osciloscopio en baquelita



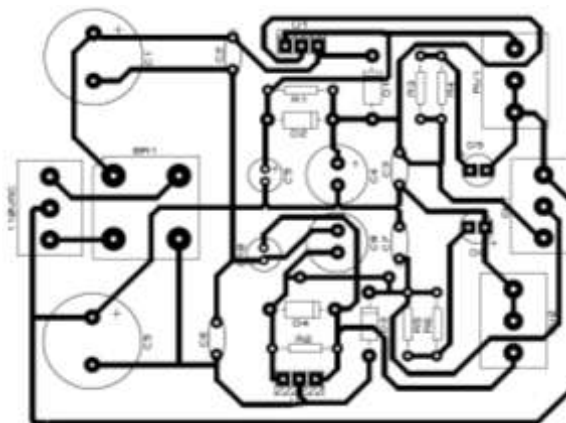
4.2.5.1 Creación de una fuente simétrica para la alimentación del osciloscopio. Para que el circuito de visualización de señales funcione como un osciloscopio debemos de crear un voltaje positivo y un voltaje negativo lo cual se obtiene solo con una fuente simétrica, el voltaje de entrada está comprendido entre +9 y -9 V de AC, quien ayudan a tener un voltaje negativo y positivo es un puente de diodos; la fuente de voltaje es inicialmente de 110V de AC lo cual se logra regular con un regulador de voltaje de 110 a 9V de AC. Para este tipo de fuentes ocupamos unos capacitores de gran capacidad debido a que estamos introduciendo frecuencias muy bajas, esto nos ayuda a tener un voltaje de alimentación para los osciloscopios sin ninguna perturbación del ruido.

Figura 98. Diagrama de conexión de la fuente simétrica



En la figura 96 se indica el diseño de las pistas para esta fuente simétrica.

Figura 99. Diseño del circuito impreso de la fuente simétrica



Los elementos que se utilizaron para la creación de este circuito son los siguientes:

Tabla 15. Lista de elementos para la construcción de la fuente simétrica

ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL / MODELO
Puente de diodos	1 unidades	S005
Capacitor	4 unidades	Cerámico / 100n
Capacitor	2 unidades	Electrolítico / 4700u
Capacitor	2 unidades	Electrolítico / 100u
Capacitor	2 unidades	Electrolítico / 10u
Transistor	2 unidades	NPN / LM317T
Diodo	4 unidades	1N4007
Resistencia	2 unidades	5K/ Potenciómetro
Resistencia	2 unidades	220R
Resistencia	4 unidades	2.4K
Diodo LED	2 unidades	Rojos

Figura 100. Circuito de fuente simétrica



4.2.6 Comprobación y verificación de las señales. Para la comprobación y verificación de las señales simuladas utilizaremos un osciloscopio físico en el cual podremos observar las señales PWM con sus respectivos voltajes en alto y bajo.

4.2.6.1 Comprobación de la señal del sensor VSS. La señal que sale del circuito creado tiene las siguientes características y se lo comprobó con un osciloscopio físico; ya que estas señales se las puede comprobar con cualquier osciloscopio no necesitamos un Scanner de la propia marca:

Figura 101. Comprobación de la señal simulada del sensor VSS



- Voltaje en alto: 12V
- Voltaje en bajo: 0V
- Ancho de onda en alto: 50%
- Ancho de voltaje en bajo: 50%
- Frecuencia máxima: 103Hz
- Frecuencia mínima: 0Hz

En la pantalla del osciloscopio no se pueden apreciar las escalas pero cabe recalcar que dada una de las divisiones equivalen a 5V en el eje `Y`.

Con esto queda demostrado que la señal cumple las características requeridas inicialmente.

4.2.6.2 *Comprobación de la señal del sensor CMP.* La señal que sale del circuito creado tiene las siguientes características:

Figura 102. Comprobación de la señal simulada del sensor CMP



- Voltaje en alto: 5V
- Voltaje en bajo: 0V
- Ancho de onda en alto: 50%
- Ancho de voltaje en bajo: 50%
- Frecuencia máxima: 167.01Hz
- Frecuencia mínima: 0Hz

De igual manera las características de la señal son adecuadas para el funcionamiento del sistema de dirección eléctrica. Y como en el caso anterior cada división de la pantalla del osciloscopio equivale a 5V.

Figura 103. Comprobación de las dos señales simuladas



4.2.7 Fusibles de seguridad. El fusible es básicamente un filamento o lámina de aleación metálica con un bajo punto de fusión minuciosamente calculado, colocado dentro de un soporte adecuado según los requerimientos de montaje, y está diseñado para fundirse o quemarse por efecto Joule, cuando la corriente que pasa por él, alcanza un determinado valor.

Estos elementos de protección no pueden ser colocados al azar, ya que se deben realizar Cálculos previos, para determinar el grado de amperaje que cada elemento requiere. A todos los resultados de intensidad, se los dividirá para un factor de protección al 90% (0.9) de la estimada en el consumidor. La ecuación para calcular el valor del fusible es la ecuación 20.

$$\text{Consumidor} = \frac{I}{0.9} \quad (20)$$

Dentro del tablero didáctico necesitamos dos fusibles de protección, uno para el motor de asistencia y otro para la unidad de control de dirección.

Fusible para la unidad de control.

Datos:

- Voltaje de alimentación: 12V
- Intensidad de la unidad de control de dirección: 1.5Ω

Aplicado la ecuación 20 el valor del fusible es de 1.66A pero en el mercado este valor no lo podemos encontrar por lo cual elegimos uno de 2A.

Fusible para el motor de asistencia.

Datos:

- Voltaje de alimentación: 12V
- Intensidad de la unidad de control de dirección: 25A

Aplicado la ecuación 20 tenemos que el fusible adecuado es de 30A.

4.3 Creación del software para el control del circuito electrónico en LabVIEW

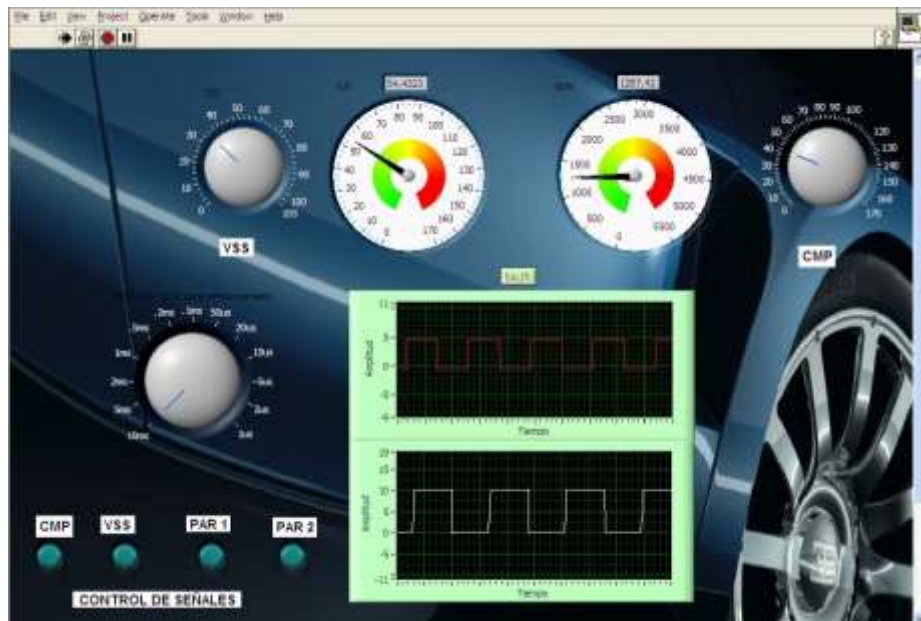
Para la manipulación y control del sistema de dirección y su circuito electrónico debemos crear un software aplicando un programa electrónico que nos permita comunicar la PC con el circuito electrónico; esto nos permitirá manipular todo el sistema de dirección EPS. El programa electrónico que aplicaremos para la creación de este software será LabVIEW.

LabVIEW es un programa el cual nos permite programar gráficamente o más conocido como lenguaje G, con lo cual creamos programas basados en diagramas de bloques.

Los diagramas de bloques son interpretados en el panel frontal con controladores e indicadores los cuales a medida que se vayan formando el diagrama de bloques siguen apareciendo en el panel frontal del programa. Cada uno de estos controladores envía datos al microcontrolador mediante el USB, al programar este software evitamos controlar el sistema de dirección asistida eléctricamente mediante potenciómetros mecánicos. Con la creación de este software evitamos manipular el circuito electrónico y evitando daños en lo posterior.

En el panel frontal de nuestro software de la figura 101 podemos observar claramente los controladores, que son las perillas de los sensores VSS y CMP, el controlador de señales, cada uno de estos interruptores virtuales cortará desde la PC las señales de los cuatro sensores; mientras que existen dos indicadores los cuales son los dos relojes analógicos que indican las revoluciones por minuto del motor simulado y la velocidad del vehículo simulado además de esto tenemos la pantalla del osciloscopio en el cual se visualizara las señales de los sensores VSS y CMP.

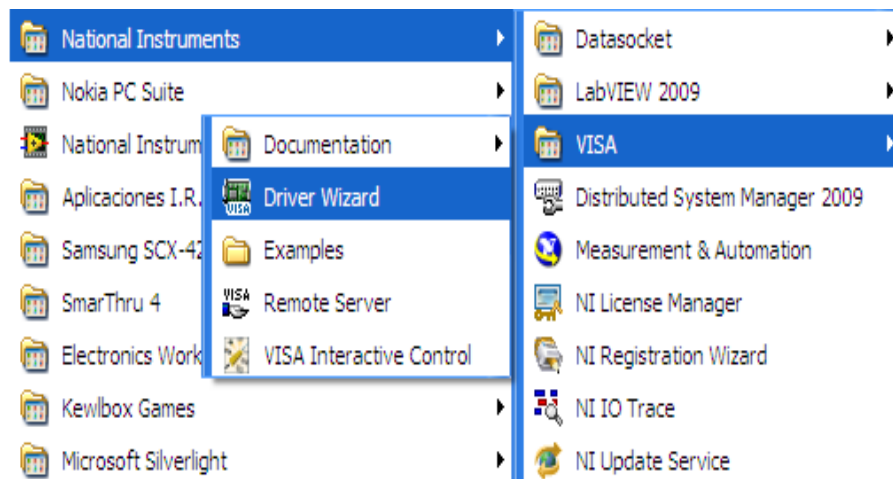
Figura 104. Panel frontal del software



4.3.1 Creación de un driver de reconocimiento del software. Para poder enlazar el programa LabVIEW con nuestro circuito electrónico (hardware) debemos crear un driver (software) el cual nos permita variar los PWM y cortar las señales desde la PC, para la creación del driver utilizaremos una herramienta de LabVIEW.

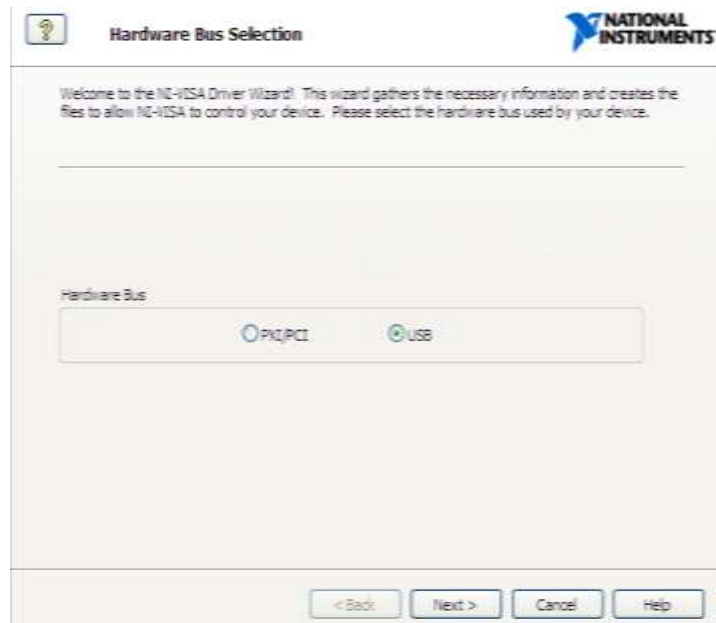
La herramienta a utilizar es VISA 5.1.1 el cual nos debemos descargar e instalar, una vez instalado damos click en inicio, todos los programas y vamos a National Instruments, aquí habrá varias opciones como en la figura 102 de la cual seleccionamos Driver Wizard.

Figura 105. Pasos para abrir VISA



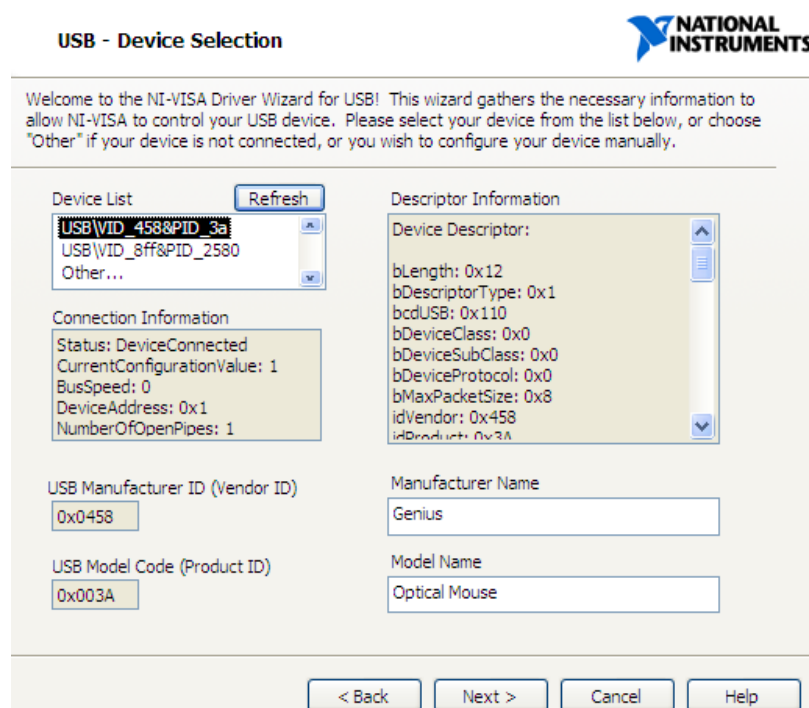
Para especificar el tipo de conexión se abre una ventana como indica la figura 103 para nuestro caso sería una conexión USB.

Figura 106. Selección del tipo de conexión



En la lista de dispositivos debemos seleccionar la primera opción y continuamos.

Figura 107. Selección del dispositivo



Después de esto introducir unos códigos del microcontrolador 18F2550 los cuales son:

- Vendor ID : 1781

- Product ID: 7D1

Estos códigos están en hexadecimal los cuales se toma en el momento de programar el PIC 18F2550.

Figura 108. Introducción de códigos del microcontrolador

En una nueva ventana nos indica el tipo de archivo que se creara y la dirección en donde se va a guardar, en este caso es un archivo Prefix.inf; como existen sistemas operativos nos crea un archivo para cada tipo.

- Prefix: para Windows XP.
- Prefix_vsita&7: para Windows vista y 7.

Se recomienda trabajar en XP o 7 para no tener inconvenientes al momento de conectara el circuito electrónico.

CAPÍTULO V

5. ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE USUARIO

5.1 Identificación de los componentes del tablero didáctico

El sistema de dirección asistida eléctricamente está conformado por un módulo de control de dirección, motor de asistencia, batería, columna de dirección, mecanismo de cremallera con sus respectivos resortes en sus extremos y un volante de dirección.

Por otra parte el circuito simulador de señales y creación de averías se ubica en la parte derecha del tablero didáctico con una protección el cual evita el polvo, el circuito consta con una conexión USB, conexión de video, interruptor de encendido del sistema, fuente de alimentación de osciloscopio (110 V), testigo luminoso de averías y testigo luminosos de funcionamiento del circuito.

Figura 109. LED`S del tablero didáctico



1: LED de averías
2: LED de funcionamiento del circuito

5.2 Verificación de elementos del tablero didáctico antes de su funcionamiento

Antes de poner en funcionamiento el tablero didáctico debemos tener en cuenta algunos aspectos como son el buen estado de los elementos que lo conforman y su funcionamiento correcto de cada uno de ellos. Además de esto debemos prestar mucha atención a las medidas de seguridad las cuales se citan en cada uno de sus ítems (advertencias). Cada una de las advertencias indican los cuidados que se debe de tener al momento de dar mantenimiento o limpieza a cada uno de los elementos constituyentes del tablero didáctico.

Voltaje de la batería.

Antes de poner en funcionamiento el sistema de dirección es de suma importancia revisar o medir la carga de la batería, se lo realizará con un multímetro; el voltaje debe estar entre 12 a 13 V de DC, en caso de no estar dentro del voltaje especificado deberá desmontarse del tablero y cargar hasta el voltaje sugerido.

Figura 110. Revisión del nivel de electrolito en la batería



Advertencia:

Antes de cargar la batería revisa el nivel del electrolito de las celdas del mismo, en caso de que falte agua destilada completar, ajustar bien cada uno de los tapones para evitar el derrame de ácido de la batería especialmente en la ropa y la pintura.

La batería se cargará de acuerdo al consumo, para lo cual se calcula el periodo de duración de la batería con la siguiente ecuación.

$$T = \frac{Q}{I} \quad (21)$$

Donde:

- I: Corriente
- Q: Capacidad
- T: Tiempo de duración de la batería

Una batería de arranque cargada por completo con una capacidad nominal de $Q = 36 \text{ Ah}$ puede suministrar una corriente media de $I = 1,8 \text{ A}$ a una temperatura de 27°C durante 20 horas.

En nuestro caso el consumo del motor de asistencia es de 25A en funcionamiento, asumiendo que utilizamos 1 hora el tablero didáctico entonces reemplazando valores en la ecuación 21 tendremos lo siguiente.

$$T = \frac{25A * 1h}{1,8A}$$

$$T = 14 \text{ horas de duración}$$

En resumen el tiempo de descarga de la batería en el sistema de dirección va a ser de 14 horas utilizando 1 hora diaria.

Fusibles de seguridad

Dentro del tablero didáctico existen dos fusibles de seguridad, uno de 2A y otro de 30A; los cuales se encuentran en la parte frontal del tablero y son de cristal que se encuentran dentro de su propia capsula; cada fusible debe ser revisado y probado su continuidad para lo cual nos valemos de un multímetro.

Figura 111. Fusibles de seguridad del tablero didáctico



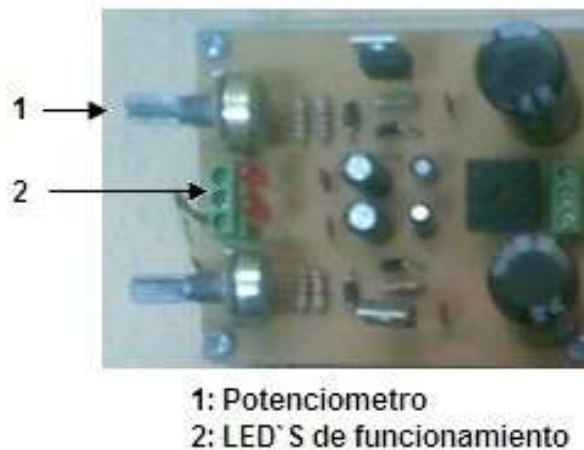
Advertencia:

Los fusibles son sensibles a golpes y se debe evitar que el fusible se caiga ya que en la cápsula está presionado por un resorte el cual al momento de sacar el fusible hace que este salga disparado hacia afuera, debido a esto debemos aflojarla lentamente para evitar que el fusible se caiga; mientras que la cápsula tiene una rosca de plástico que debe ser aflojado con la mano evitando que la rosca se dañe tanto al aflojar como al ajustar, en caso de que la rosca se haya dañado deberá remplazarse la cápsula.

Conexión de la fuente de 110 V para la fuente simétrica

La conexión de 110 alimenta la fuente simétrica, lo cual hace que se enciendan dos LED'S de color rojo eso nos indica de que el circuito de la fuente simétrica está en condiciones normales de funcionamiento. En caso de que los LED'S no se enciendan desmontar el circuito y su transformador y revisar continuidad entre sus elementos. En caso de que no exista solución realizar otro circuito tomando en cuenta todos los aspectos.

Figura 112. Identificación de los potenciómetros de la fuente simétrica



Advertencia:

En el momento de desmontar el circuito, desconectar la batería, retirar con cuidado la protección del circuito; el circuito de la fuente simétrica posee dos potenciómetros los cuales no deben de ser movidos bajo ninguna situación.

Resortes de flexión.

Los resortes cumplen la función de simular la oposición al giro del volante, cuando el sistema esté apagado, el giro del volante se lo realizara con un grado de fuerza mayor debido a la oposición de los resortes. Estos resortes deben de estar previamente lubricados con un aceite liviano, específicamente el cuerpo del resorte para proteger de la corrosión.

Advertencia:

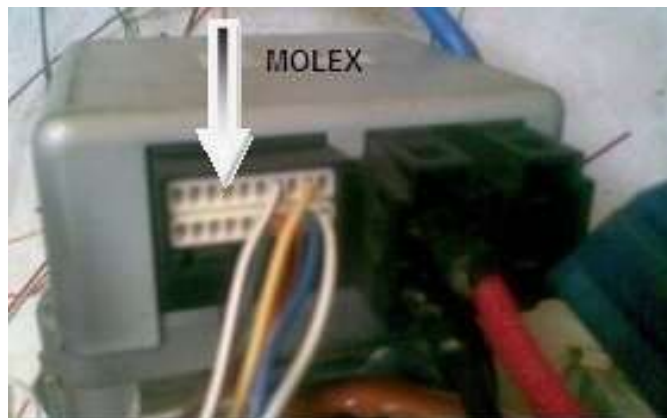
El resorte no puede ser retirado bajo ninguna circunstancia salvo el caso de que haya anomalías en su estructura como espiras rotas o muy separadas, lo cual nos da a entender que el resorte esta deteriorado. La lubricación del resorte se lo debe realizar

con un aceitero y debe agregarse pequeñas cantidades, no es necesario retirar para lubricarlo.

Conexiones eléctricas

Las conexiones eléctricas es lo mas principal para el correcto funcionamiento del tablero didáctico por lo cual se recomienda realizar una inspección visual que ningún cable esté suelto o deteriorado, en especial los cables que salen desde la unidad de control electrónico como podemos ver en la figura 110 la conexión en el módulo de control son visibles par su fácil inspección. En lo que se refiere a la conexión USB y conexión de audio en el momento de su utilización procurar no halar ya que podrían averiarse.

Figura 113. Conector de la unidad de control



Advertencia:

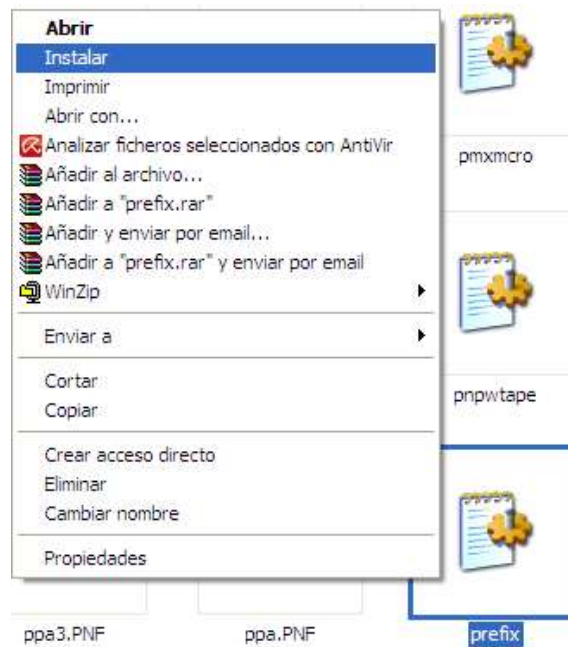
Bajo ninguna circunstancia hale o retire los cables del conector del módulo de control estos están introducidos en un **molex** a presión como se observa en la figura 110.

5.3 Instalación del driver y ejecución del programa

En un CD de datos podemos encontrar el driver y un archivo ejecutable del programa realizado en LabVIEW, para instalar el driver en cualquier computadora portátil se debe realizar lo siguiente:

Abrimos el disco C de la PC, abrimos la carpeta de WINDOWS, buscamos la carpeta inf, abrimos esta carpeta y pegamos el archivo Prefix (Driver) del CD, luego damos click izquierdo e instalamos como indica la figura 111.

Figura 114. Instalación del driver

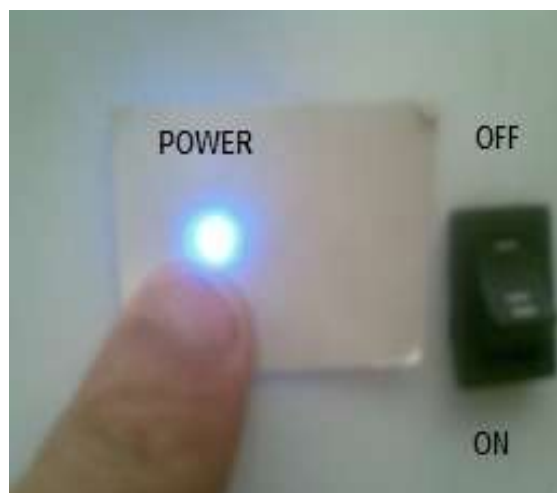


Para ejecutar el programa copiamos el archivo en cualquier parte de la PC y lo podemos ejecutar o a su vez podemos ejecutar en el mismo CD.

5.4 Operación del tablero didáctico

Una vez tomado las precauciones y revisiones citadas anteriormente y ejecutado el programa conectamos el USB y el cable de audio, conectamos la batería y la fuente de 110V, previo a ello el sistema debe estar apagado para lo cual se debe verificar que el interruptor este en la posición OFF como se ve en la figura 112.

Figura 115. Verificación del interruptor de encendido y LED



En el momento que se conecte el cable USB se debe encender el LED de color azul en el tablero didáctico, como indica la figura 112.

5.5 Condiciones de funcionamiento del tablero didáctico

Este tablero didáctico puede tener diferentes condiciones de funcionamiento simulando a un vehículo en movimiento garantizando de esta manera que el estudiante comprenda el funcionamiento del sistema.

Cada una de estas condiciones de funcionamiento se los puede realizar variando la velocidad y revoluciones en el software con sus cursores de los sensores VSS y CMP como se observa en la figura 101.

5.5.1 Primera condición de funcionamiento del tablero didáctico. La primera condición de funcionamiento del tablero simula a un vehículo cuando está ingresando o saliendo del parqueadero, para lo cual el cursor del sensor de velocidad debe estar en 0 K/h y el cursor de revoluciones debe estar en ralentí entre 700 y 800 rpm.

Figura 116. Posición de cursores para la primera condición de funcionamiento

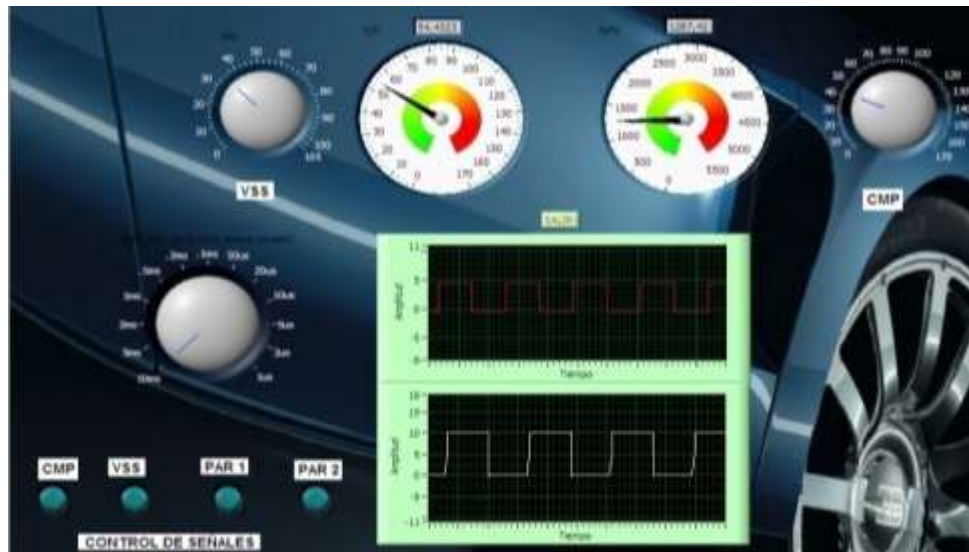


La respuesta del volante debe ser suave al girar hasta su tope. La señal del sensor VSS no será visible en el osciloscopio.

5.5.2 Segunda condición de funcionamiento del tablero didáctico. La segunda condición de funcionamiento del tablero simula a un vehículo cuando está siendo conducido en línea recta o en una calle dentro de una ciudad, para lo cual el cursor del sensor de velocidad debe estar en 30 y 50 K/h y el cursor de revoluciones debe estar

entre 2000 y 3000 rpm. La respuesta del volante debe ser no muy suave al momento de girar hasta su tope.

Figura 117. Posición de cursores para la segunda condición de funcionamiento



5.5.3 Tercera condición de funcionamiento del tablero didáctico. La tercera condición de funcionamiento del tablero simula a un vehículo cuando está siendo conducido en línea recta, para lo cual el cursor del sensor de velocidad debe estar en 90 y 100 K/h o más, y el cursor de revoluciones debe estar entre 3500 y 4500 hasta 500 rpm. La respuesta del volante debe ser dura al momento de girar hasta su tope.

Figura 118. Posición de cursores para la tercera condición de funcionamiento



5.6 Simulación de averías dentro del sistema de dirección.

El objetivo de la simulación de averías es interrumpir las señales desde la PC mediante unos interruptores virtuales, al accionar corta la señal requerida por la unidad de control. Al igual que un tablero de instrumentos del vehículo, el tablero didáctico posee un testigo luminoso de averías (LED verde) el cual se enciende en el momento que se corta cualquier señal de igual forma sucede en el software como se puede observar en la figura 116, esto nos indica que el sistema de dirección esta averiada. Los interruptores virtuales cortan las siguientes señales:

Figura 119. Interruptores virtuales activados (color verde)



- Señal del sensor VSS.
- Señal del sensor CMP.
- Señal principal de par (PAR 1).
- Señal auxiliar de par (PAR2).

Cada corte de señal produce una sensación del volante diferente, en cualquier situación de funcionamiento; con lo cual el tablero se vuelve más didáctico y práctico para la formación del estudiante.

5.6.1 Corrección de averías. En lo que se refiere a corrección de averías, el estudiante puede corregir las averías habilitando nuevamente las señales interrumpidas, cabe recalcar que cuando se corta las señales del sensor de par, la unidad de control desactiva automáticamente el sistema de dirección. Para poner nuevamente en funcionamiento el tablero, debe apagarse el sistema desde el

interruptor de encendido luego se habilita estas señales y nuevamente encendemos el sistema desde el interruptor de encendido.

Mientras que cuando se corta las señales de revolución y velocidad la unidad de control no desactiva el sistema; en este caso el estudiante solo debe habilitar estas señales y el sistema entra en funcionamiento.

5.7 Plan de mantenimiento e inspección

A continuación en la tabla 15 se detalla los mantenimientos que deben hacerse al tablero didáctico, el mantenimiento se realizará en base a las horas de uso del mismo.

Tabla 16. Planes de mantenimiento e inspección del tablero didáctico

MANTENIMIENTO A EFECTUARSE	PERIODO EN HORAS			
	15	50	100	200
Lubricación de los resortes			•	
Lubricación le la columna de dirección				•
Verificación del electrolito de la batería		•		
Verificación del voltaje de la batería	•			
Completar el electrolito de la batería				•
Verificación de los fusibles	•			

5.8 Normas de seguridad para el uso y funcionamiento del tablero didáctico

Para evitar accidentes dentro del laboratorio se recomienda leer las normas de seguridad antes de realizar las prácticas en el tablero didáctico. En la lista se enuncia las normas de seguridad para garantizar la realización de las prácticas de forma segura.

- Asegurar que el área de trabajo alrededor del tablero didáctico esté limpia, seca, iluminada, organizada; sin herramientas, materiales o piezas sueltas.

- Asegurar de que todos los elementos del tablero didáctico estén perfectamente ajustados y fijos a la estructura en especial la batería.
- Para el traslado del tablero de un lugar a otro se dispone de ruedas industriales, evitar que las ruedas sufran daños o golpes al momento del traslado.
- Antes de poner en funcionamiento el tablero se recomienda leer el manual de usuario y contar con la presencia de un docente.
- Ubicar el tablero en un lugar libre de irregularidades con lo cual garantizamos que al momento de apoyar una computadora portátil no sufra caídas.
- Use ropa adecuada de trabajo evite utilizar joyas, relojes, cadenas, etc; esto garantiza que en el momento de manipular la batería o la fuente de alimentación no ocurra cortocircuitos.
- Al momento de completar o revisar el nivel de electrolito de la batería asegure de que la batería esté en un lugar seguro.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se construyó un banco didáctico de un sistema de dirección asistida eléctricamente EPS, para el laboratorio de electricidad de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la ESPOCH.
- Se creó un circuito electrónico de simulación de sensores y averías, utilizando herramientas de la electrónica de última generación, conjuntamente se aplicaron programas informáticos.
- Analizamos el comportamiento del sistema EPS en diferentes condiciones de funcionamiento garantizando de esta manera que el sistema EPS no presente fallos en lo posterior, los fallos solo se podrán provocar de una forma manual con el software diseñado mas no de forma automática o por cualquier otra situación anormal.
- Se elaboraron guías de laboratorio para el optimización del uso del equipo, con el objeto que los estudiantes de la carrera puedan entender claramente el funcionamiento del sistema de dirección EPS por medio de la maqueta.
- Se creó un manual de usuario de operación, mantenimiento y seguridad, para prevenir el uso inadecuado del equipo y así proteger la integridad tanto del usuario como del equipo.
- Se diseñó una estructura, que brinde mayor resistencia a los factores externos, con una distribución apropiada, de tal forma que los estudiantes puedan ejecutar las prácticas necesarias en la maqueta funcional.

6.2 Recomendaciones

- Ubicar el sistema de dirección EPS en un lugar adecuado y seguro, con visibilidad, identificación y bajo cubierta para que los estudiantes no tengan ningún problema al realizar las prácticas.
- Leer detalladamente el manual de usuario y seguridad, ya que describe cuidadosamente los parámetros de funcionamiento, así como las precauciones y mantenimientos que se debe tener al maniobrar el equipo.

- Seguir el proceso indicado en las guías de laboratorio para la realización de las prácticas, y con la autorización del profesor a cargo.
- Realizar un mantenimiento adecuado al equipo en especial a la batería, ya que el equipo debe estar libre de polvo, líquidos, otros contaminantes que puedan dañar los elementos electrónicos del sistema de dirección EPS, utilizando productos de buena calidad.
- Evitar a golpes o temperatura elevados mayor a 50° C la unidad de control de dirección, evitar que se derramen líquidos sobre él.
- El sistema EPS, no puede ser desarmado, esto provocaría el desperfecto del sistema, en caso de que algún elemento falle debe ser sustituido todo el sistema.
- En caso de que se adquiriera un nuevo sistema de dirección asistida eléctricamente EPS, se debe de tomar en cuenta que los cables del motor de asistencia suelen venir invertidos, es decir el cable negro conectado a positivo y el cable rojo a negativo; deberá corregirse esta anomalía propia de la fábrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARIAS PAZ, M. Manual del Automóvil. 44ta.ed. España: Madrid, 2001. Pág. 522
- [2] <http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion.htm>
- [3] <http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-geometria.htm>
- [4] ARIAS PAZ, M. Manual del Automóvil. 44ta.ed. España: Madrid, 2001. Pág. 551
- [5] ARIAS PAZ, M. Manual del Automóvil. 44ta.ed. España: Madrid, 2001. Pág. 562
- [6] ALONSO, J. M. Técnicas del Automóvil CHASIS. 7ta.ed. España: Paraninfo, 2004. Pág. 534
- [7] http://www.trw.com/sub_system/electrically_powered_steering
- [8] <http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-asistida-electr.htm>
- [9] <http://www.Toyota Motor Sales, /U.S.A., Inc. All Rights Reserved/.org>
- [10] <http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-asistencia-variable.htm>
- [11] http://www.trw.com/sub_system/electrically_powered_steering_column_drive
- [12] http://www.trw.com.br/produtos/cha_steering_suspension_english.pdf
- [13] http://www.trw.com/sub_system/electrically_powered_steering_column_drive
- [14] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-39
- [15] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-42
- [16] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-43
- [17] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-54
- [18] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-64
- [19] HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008. Pág. ST-70
- [20] http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1101

[21] SHIGLEY, J.E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4ta.ed. México: Juárez, 1983.
Pág. 47

[22] <http://www.cebora.it/istr/ist190E.pdf>

[23] <http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>

[24] REYES, C. Microcontroladores Programación en Basic. 2da.ed. Ecuador: Quito, 2008. Pág. 22

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS PAZ, M. Manual del Automóvil. 44ta.ed. España: Madrid, 2001.

ALONSO, J. M. Técnicas del Automóvil CHASIS. 7ta.ed. España: Paraninfo, 2004.

CROUSE, W. Equipo Eléctrico y Electrónico del Automóvil. 6ta.ed. Colombia: Bogotá, 2008.

HYUNDAI, A. Manual de servicio. Sistema de Dirección Asistida Eléctrica. Korea, 2008.

REYES, C. Microcontroladores Programación en Basic. 2da.ed. Ecuador: Quito, 2008.

SANTANDER, J. Mecánica y Electrónica Automotriz. 4ta.ed Colombia: Bogotá, 2005.

SHIGLEY, J.E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 4ta.ed. México: Juárez, 1983.

LINKOGRAFÍA

SISTEMAS DE DIRECCIÓN

<http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion.htm>
25-03-2011

SISTEMAS DE DIRECCIÓN ELÉCTRICAS

http://www.trw.com/sub_system/electrically_powered_steering
03-04-2011

DIRECCIONES ASISTIDAS

<http://www.aficionadosalamecanica.com/direccion-asistida-electr.htm>
25-06-2011

SENSORES DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

<http://www.Toyota Motor Sales, /U.S.A., Inc. All Rights Reserved/.org>
29-07-2011

SISTEMA COLUMN DRIVE

http://www.trw.com/sub_system/electrically_powered_steering_column_drive
01-08-2011

SISTEMA PINION DRIVE

http://www.trw.com.br/produtos/cha_steering_suspension_english.pdf
23-10-2011